ISSN 0181-0642

BULLETIN du MUSÉUM NATIONAL d'HISTOIRE NATURELLE

PUBLICATION TRIMESTRIELLE

SECTION C

sciences de la terre

paléontologie
géologie
minéralogie

4e SERIE T. 4 1982 Nos 3-4

Juillet-Septembre/Octobre-Décembre 1982

BULLETIN
du
MUSÉUM NATIONAL D'HISTOIRE NATURELLE

57, rue Cuvier, 75005 Paris

Directeur : Professeur E. R. Brygoo

Section C : SCIENCES DE LA TERRE

Directeur : Pr L. Leclaire, Laboratoire de Géologie.
Rédaction : P. Dupérier.
Comité scientifique : J. Aubouin (Paris), R. G. C. Bathurst (Liverpool), W. H. Berger (La Jolla), Y. Coppens (Paris), B. Cox (Londres), D. S. Cronan (Londres), J. Fabriès (Paris), de Lumley (Paris), W. R. Riedel (La Jolla).
Comité de Lecture : J. P. Caulet, J. C. Fischer, L. Ginsburg, L. Leclaire, E. A. Perseil.
Les Membres du Comité scientifique sont membres de droit du Comité de Lecture qui désigne les rapporteurs dont un au moins est extérieur au Muséum.

Fondé en 1895, le *Bulletin du Muséum d'Histoire naturelle* est devenu à partir de 1907 : *Bulletin du Muséum national d'Histoire naturelle.* Des travaux originaux relatifs aux diverses disciplines scientifiques représentées au Muséum y sont publiés. Il s'agit essentiellement d'études de Systématique portant sur les collections conservées dans ses laboratoires, mais la revue est également ouverte, depuis 1970 surtout, à des articles portant sur d'autres aspects de la Science : biologie, écologie, etc.

La *1re série* (années 1895 à 1928) comprend un tome par an (t. 1 à 34), divisé chacun en six fascicules regroupant divers articles.

La *2e série* (années 1929 à 1970) a la même présentation : un tome (t. 1 à 42), six fascicules par an.

La *3e série* (années 1971 à 1978) est également bimestrielle. Le *Bulletin* est alors divisé en cinq Sections et les articles paraissent par fascicules séparés (sauf pour l'année 1978 où ils ont été regroupés par fascicules bimestriels). Durant ces années chaque fascicule est numéroté à la suite (nos 1 à 522), ainsi qu'à l'intérieur de chaque Section, soit : Zoologie, nos 1 à 356 ; Sciences de la Terre, nos 1 à 70 ; Botanique, nos 1 à 35 ; Écologie générale, nos 1 à 42 ; Sciences physico-chimiques, nos 1 à 19.

La *4e série* débute avec l'année 1979. Le *Bulletin* est divisé en trois Sections : A : Zoologie, biologie et écologie animales ; B : Botanique, biologie et écologie végétales, phytochimie (fusionnée à partir de 1981 avec la revue *Adansonia*) ; C : Sciences de la Terre, paléontologie, géologie, minéralogie. La revue est trimestrielle ; les articles sont regroupés en quatre numéros par an pour chacune des Sections ; un tome annuel réunit les trois Sections.

S'adresser :

— pour les **échanges**, à la Bibliothèque centrale du Muséum national d'Histoire naturelle, 38, rue Geoffroy Saint-Hilaire, 75005 Paris, tél. 331-71-24 ; 331-95-60.
— pour les **abonnements** et **achats au numéro**, au Service de vente des Publications du Muséum, 38, rue Geoffroy Saint-Hilaire, 75005 Paris, tél. 331-71-24 ; 331-95-60. C.C.P. Paris 9062-62.
— pour tout ce qui concerne la **rédaction**, au Secrétariat du Bulletin, 57, rue Cuvier, 75005 Paris, tél. 587-19-17.

Abonnements pour l'année 1982

Abonnement général : 1000 F.
Section A : Zoologie, biologie et écologie animales : 620 F.
Section B : Botanique, *Adansonia* : 280 F.
Section C : Sciences de la Terre, paléontologie, géologie, minéralogie : 180 F.

Numéro d'inscription à la Commission paritaire des publications et agences de presse : 1405 AD

BULLETIN DU MUSÉUM NATIONAL D'HISTOIRE NATURELLE
4e série, **4**, 1982, section C (Sciences de la Terre, Paléontologie, Géologie, Minéralogie), nos 3-4

SOMMAIRE — *CONTENTS*

J.-M. Rouchy. — La crise évaporitique messinienne de Méditerranée : nouvelles propositions pour une interprétation génétique 107

The Messinian evaporitic crisis in the Mediterranean : new proposals for a genetic interpretation.

H. Pascaline, S. Benauges, J.-J. Jérémie et B. Blavoux. — Hydrochimie et circulation des eaux de sources chaudes du massif de la Soufrière, Guadeloupe .. 137

Hydrochemistry and circulation of hot-springs waters from the massif of the Soufrière, Guadeloupe.

R.-P. Carriol. — Types et Figurés de Crustacés fossiles non Décapodes du Muséum national d'Histoire naturelle 157

Type and Figured specimens of fossils not Decapoda Crustacea of the Muséum national d'Histoire naturelle.

C. de Muizon et M. Bond. — Le Phocidae (Mammalia) miocène de la formation Paraná (Entre Ríos, Argentine) 165

The Phocidae (Mammalia) from the Miocene of the Paraná formation (Entre Ríos, Argentina).

H. Thomas, J. Morales et É. Heintz. — Un nouveau Bovidé (Artiodactyla, Mammalia), *Hispanodorcas torrubiae* n. g., n. sp., dans le Miocène supérieur d'Espagne. 209

A new Bovid (Artiodactyla, Mammalia), Hispanodorcas torrubiae *n. g., n. sp., from the Upper Miocene of Spain.*

Bull. Mus. natn. Hist. nat., Paris, 4e sér., **4**, 1982,
section C, nos 3-4 : 107-136.

La crise évaporitique messinienne de Méditerranée : nouvelles propositions pour une interprétation génétique

par Jean-Marie Rouchy

Résumé. — Le présent article résume les propositions majeures qui se dégagent d'une étude détaillée des évaporites messiniennes de Méditerranée conduisant à formuler une interprétation génétique nouvelle. L'ensemble des résultats présenté comme thèse de Doctorat est publié aux *Mémoires du Muséum national d'Histoire naturelle* (1982). Une approche méthodologique particulière a été adoptée ; elle a permis d'étudier un maximum de bassins actuellement émergés, choisis en fonction de leur représentativité paléogéographique (depuis les bassins marginaux jusqu'aux bassins salifères), et de prendre en compte tous les composants de la séquence évaporitique, leurs caractères sédimentologiques, paléoécologiques et leur agencement spatio-temporel.

Parmi les résultats fondamentaux, on notera : — la filiation marine des évaporites dans les parties occidentale et orientale du bassin, malgré l'importance des apports d'eaux météoriques et l'existence très localisée de phénomènes de recyclage de sulfates anciens dans des dépressions endoréiques ; — les notions de progressivité et de diachronisme de la sédimentation messinienne qui se traduisent par : la succession d'une séquence de confinement progressif (marnes marines — laminites — évaporites), la définition des deux types de diatomites préévaporitiques et les caractères particuliers de l'agencement des corps sédimentaires qui sont la conséquence de l'interférence de plusieurs facteurs propres de la sédimentation évaporitique : piège morphologique, subsidence qui assure la pérennité du piège, abaissement du niveau du plan d'eau, rétraction du domaine sédimentaire entraînant un dispositif concentrique en corps emboîtés ; — la reconstitution des rapports géométriques et génétiques entre les trois grands types de sédimentation : laminites/récifs/évaporites ; — la reconstitution des milieux de dépôt et des modalités de cristallisation des différents types d'évaporites séparant les processus de dépôt primaire sous-aquatique, de diagénèse précoce et tardive ; — les différences qui caractérisent les deux grandes parties du domaine, orientale et occidentale ; — la mise en évidence de la progressivité des phénomènes de dessalure au cours du dépôt du terme supérieur aboutissant logiquement aux sédiments laguno-lacustres sommitaux qui ne peuvent être mis en rapport qu'avec une modification climatique progressive.

L'ensemble des caractères conduit à envisager un domaine à paléogéographie diversifiée préfigurant seulement la morphologie actuelle du domaine méditerranéen avec des valeurs de profondeur plus faibles, morphologie qui a été acquise au cours d'une évolution tectonique continue jusqu'à la période actuelle et dont la réorganisation paléogéographique mio-pliocène ne représente qu'un instantané ; l'isolement de ce domaine est incontestablement contrôlé par des mécanismes tectoniques et aggravé par de possibles fluctuations du niveau océanique qui, conjointement, réduisent, sans les interrompre durablement, les apports d'eaux océaniques ; l'instabilité du bilan hydraulique qui en résulte le rend alors fortement dépendant des modifications de l'environnement climatique qui constituent, dans un bassin déjà prédisposé par un confinement d'origine morphologique, le moteur essentiel de la crise de salinité ; l'intégration dans un cadre climatique général est présentée et discutée. Les paramètres physiographiques locaux ont, pour leur part, conditionné l'expression sédimentologique régionale de l'événement.

Abstract. — New proposals for a genetic interpretation of Mediterranean Late Miocene evaporites are presented in this article that is an abstract of a more detailed study presented as a Doctoral thesis published in the *Mémoires du Muséum national d'Histoire naturelle*. The methodological approach was oriented to the observation of a maximum of actually emerged basins,

representative of major paleogeographic situations : endoreic distal depressions with or without evaporites (Granada, Guercif), distal basins without evaporites but with Messinian laminites and reefs (Boudinar, Melilla), peripheric proximal basins with more or less reduced evaporitic formations (Chelif, Southern Spain basins, Sicily except Caltanissetta, Zakynthos, Creta, Cyprus) and central basins with thick halitic body (Caltanissetta). A comparative study was carried on DSDP drilling samples and on Middle Miocene evaporites of the Gulf of Suez area. In each basin, all sedimentary components of the evaporitic succession (preevaporitic diatomites and laminites, coral reefs, stromatolitic build-up, evaporites, intercalated and post-evaporitic sediments) have been examined in their sedimentological and ecological characters as in their geometric and genetic mutual relations.

Among the major proposals, we note : — the diversified paleogeographic character of the Mediterranean area prefiguring present morphology but with lower depth values in western part ; present bathymetry is a result of subcontinuous tectonic differenciation whose important mio-pliocene reorganisation represents a close-up revealed by particular hydrodynamic conditions ; — the chiefly marine filiation of the evaporites both in western and eastern parts in spite of an important participation of meteoric waters which is increasing towards the upper evaporitic unit top ; an exception is constituted by some localised marginal endoreic depressions in which sulfates are in major part originated from continental dissolution of older evaporites (triassic) ; — the distinction of two types of preevaporitic diatomites and laminites : type I related to upwelling processes and active marine circulation and type II related to restricted conditions (stratification of water body, beginning of sea level drop, etc.) ; — the reconstruction of genetic relations between Coral or Melobesiae growth that is occuring during preevaporitic phase type I and partially type II but always prior to evaporitic conditions. These ones are characterized by definitive ceasing of Coral build-up and by emersive phase in the reef, followed by the generalisation of cyanobacterial constructive activity during further evolution ; — the reconstitution of successive sedimentary environments, of ecological conditions and of modalities of precipitation and transformation of evaporites ; — the major notions of progressivity of the restricted conditions in each basin but its diachronism in the Mediterranean area with progressive migration and increase of evaporitic conditions from edges to central part ; resulting sedimentary arrangement is characterized by a concentric disposition of encased bodies ; — the hydrodynamical mecanisms including subcontinuous influxes of oceanic waters (in spite of temporary complete closure), episodic drop of the aquatic level and simultaneous restriction of the sedimentary area (prograding sedimentation, stop of the coral build-up, etc.) and strong variations of physico-chemical parameters of the residual environments (depth, salinity, etc.) ; this does not imply a complete desiccation of the Mediterranean area during Messinian, but a persistance of local and residual aquatic environments ; restriction of the sedimentary area involves repetitive emersion more or less developped in the marginal parts of the basins ; — the progressive increasing of brackish conditions and terrigeneous input from the base to the top of the upper evaporitic unit leading to the terminal " lac-mer " conditions excludes an explanation by drastic phenomena as the emptying of Paratethyan brackisch waters in dryed Mediterranean but can be related to progressive climatic changes.

These data lead to a general interpretation in which the tectonic processes, aggravated by glacio-eustatic oceanic level lowering, are the major control of the isolation, because they strongly reduce influxes of oceanic waters and they bring about an instability of the hydrological balance ; morphologic isolation being realized, the succession of evaporitic and no-evaporitic stages is strictly dependent upon climatic changes (and variations of oceanic waters supply) which control the concentration and evaporitic conditions during aridity periods, the dilution and brackisch conditions during increasing rainfall periods and the re-establishment of marine conditions. Progressive increase of dilution processes in the upper evaporites is necessarily related to progressive growth of the humidity conditions leading to the " lac-mer " environments ; intermittent arid periods allowing evaporitic deposition are not sufficiently intensive to produce massive and continuous halitic precipitation (except perhaps in eastern part) as in lower unit considered as major arid period. The differences appearing between western and eastern part of the area are discussed. This climatic change occuring together with important extra-mediterranean events can be probably related to a progressive installation of a contrasted latitudinal zonation prefiguring that of the present day and following more homogeneous climatic conditions of the preceding

times. Local parameters (morphology, hydrodynamism, local climatic modifications, situation in global paleogeography, situation refering to ocean gap, etc.) can explain the sedimentary arrangement.

Mots-clés : évaporites, Méditerranée, Messinien, paléogéographie, sédimentologie, climat.

J.-M. Rouchy, *Laboratoire de Géologie du Muséum national d'Histoire naturelle*, GRECO 52, *43, rue Buffon 75005 Paris.*

Dans le bassin méditerranéen qui a déjà acquis une configuration préfigurant globalement celle qu'il présente de nos jours, la fin de la période miocène — et plus particulièrement le Messinien (6,5 à 5 Ma) — est caractérisée par un événement géodynamique et hydrodynamique exceptionnel, plus communément désigné par l'expression de « crise de salinité » messinienne ; il s'agit d'une succession d'épisodes évaporitiques d'une importance globale telle qu'ils constituent un géant salifère (K. J. Hsü, 1973), au même titre que le Permo-Trias d'Europe occidentale, le Crétacé inférieur de l'Atlantique sud, le Miocène plus ancien de Paratéthys, de mer Rouge ou de Mésopotamie, etc. En effet, l'extension de ces dépôts (3 000 km d'ouest en est, 1 000 km du nord au sud), leur épaisseur (plus de 3 000 m en Méditerranée orientale, 1 500 dans la partie occidentale) et leur volume (supérieur à 1.10^6 km^3) suffisent à démontrer l'intérêt exceptionnel que représente un tel événement pour la connaissance des évaporites d'une part, et la reconstitution de l'histoire géologique du bassin méditerranéen d'autre part.

D'une manière générale, au gigantisme des dépôts réalisés pendant ces périodes, s'ajoutent d'autres particularités qui rendent leur interprétation génétique souvent malaisée et controversée : la vitesse de sédimentation extrêmement rapide (jusqu'à 10 cm/an) qui autorise à penser qu'un certain nombre de ces géants représentent en fait des instantanés géologiques ; l'extrême avarice de la nature actuelle en sites comparables dont les observations pourraient être transposées aux séries du passé ; la rigueur des conditions d'environnement tant morphologique que climatique qu'exige le développement de conditions évaporitiques durables. Il apparaît donc que, malgré leur importance volumétrique et leur relative fréquence dans l'échelle stratigraphique, de tels événements résultent de la conjonction parfois accidentelle dans le temps de phénomènes paroxysmaux et représentent des enregistrements de périodes de crise. Une meilleure connaissance de leur mode de formation s'avère d'autant plus importante qu'à leur intérêt fondamental s'ajoute un intérêt pratique considérable, notamment pour la recherche des gisements d'hydrocarbures : présence de roches-mères fréquentes au cours des épisodes préévaporitiques ; réalisation de pièges (halocinèse, édifices récifaux, etc.) et de roches-réservoirs ; constitution de couvertures particulièrement étanches par les couches salifères.

Le bassin évaporitique messinien de Méditerranée, dont l'existence a été définitivement prouvée par les sondages profonds du Glomar Challenger en 1970 (Leg 13 ; W. B. F. Ryan, K. J. Hsü *et al.*, 1973), constitue un des plus remarquables exemples de ces problèmes et en même temps un site privilégié pour l'étude des mécanismes de la sédimentation évaporitique ; il s'inscrit, en effet, dans l'un des contextes géologiques parmi les plus anciennement étudiés et les mieux connus, ainsi que dans une période relativement récente, ce qui autorise des comparaisons plus fiables avec les processus observés dans

la nature actuelle ; il convient d'y ajouter l'abondance et la qualité du matériel observable.

Par sa nouveauté, son aspect spectaculaire et ses implications tant fondamentales qu'appliquées, cet événement allait rapidement constituer un thème de recherche en vogue, suscitant une production scientifique considérable et alimentant, dès le début, une polémique passionnée entre partisans d'interprétations génétiques opposées. Plusieurs revues critiques de ces interprétations ont été proposées par C. W. Drooger (1973), K. O. Heimann (1977), J.-M. Rouchy (1979, 1981), F. Orszag-Sperber et J.-M. Rouchy (1980), etc.

L'article présenté a pour objectif de dégager et de mettre en relief les propositions nouvelles qui découlent d'une étude réalisée pour une thèse de Doctorat d'État et conduite indépendamment de tout modèle de départ, de 1974 à 1981 ; les données analytiques ne seront donc pas reprises ici, le lecteur étant renvoyé pour cela à l'ouvrage complet (J.-M. Rouchy, 1982). L'approche méthodologique adoptée dans ce travail visait à acquérir une connaissance globale du problème par l'observation d'un maximum de bassins actuellement à l'affleurement (fig. 1), choisis en fonction de leur représentativité paléogéographique, et par la prise en compte de *tous* les composants de la séquence évaporitique.

I. RAPPEL DE QUELQUES DONNÉES GÉNÉRALES

Il est impossible dans le cadre de cet article d'évoquer tous les aspects actuellement connus du problème ; de très nombreuses publications et surtout plusieurs ouvrages collectifs regroupant les communications présentées lors des diverses réunions internationales qui ont eu lieu sur ce thème permettent d'acquérir une bonne connaissance des données de base : W. B. F. Ryan, K. J. Hsü *et al.* (1973), C. W. Drooger (1973), R. H. Benson (1976), RCP 459 (1977), R. Catalano *et al.* (1978), M. B. Cita et W. B. F. Ryan (1978), M. B. Cita et R. Wright (1979), K. J. Hsü, L. Montadert *et al.* (1978), F. Orszag-Sperber et J. M. Rouchy (1980), J. M. Rouchy (1980, 1982), etc.

A. — Répartition générale des grands ensembles sédimentaires

La figure 1 montre que la formation évaporitique occupe la presque totalité du domaine méditerranéen actuel, débordant même souvent dans les parties actuellement émergées ; en règle générale, les fortes épaisseurs, correspondant précisément aux formations qui possèdent un terme salifère très développé, apparaissent globalement circonscrites dans les limites des principales plaines abyssales actuelles : bassin algéro-provençal (1 500 m dont 800 m de sel massif), bassin ionien (environ 1 200 m), bassins d'Herodotus et du Levant (jusqu'à 3 500 m), bassin d'Antalya (2 000 m), bassins de Cilicie et d'Iskenderun, etc.

La formation évaporitique se subdivise en deux termes superposés (fig. 2) : un terme inférieur principalement halitique et un terme supérieur à dominante gypso-anhydritique (alternances de marnes et de sulfates). Le schéma se complique toutefois par l'existence locale d'un terme gypso-anhydritique inférieur qui apparaît non pas sous-jacent au sel,

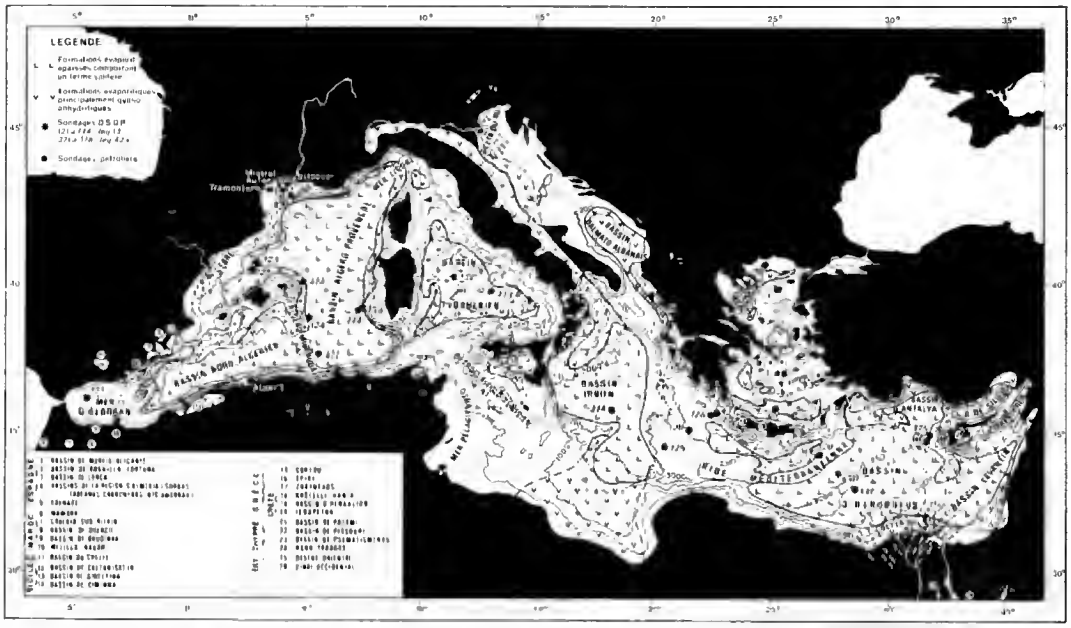


Fig. 1. — Carte de répartition des évaporites dans le domaine méditerranéen (document synthétisé à partir des travaux de I. Finetti, 1972 ; B. Biju-Duval *et al.*, 1974 ; B. Biju-Duval et L. Montadert, 1976, et des études personnelles dans les bassins cités dans la liste, en bas à gauche).

Distribution of the Messinian evaporites in the Mediterranean area (synthetised from I. Finetti, *1972* ; B. Biju-Duval *et al., 1974* ; B. Biju-Duval *et* L. Montadert, *1976, and personal studies in basins listed in the insert bottom left) : we note that, in spite of the global coincidence between boundaries of the massive salt bodies and of the present abyssal plains, the obliquity is a frequent situation.*

mais latéral (voir ci-dessous) et par la présence d'intercalations salifères d'extension limitée dans le terme supérieur (bassin algéro-provençal, sites 124, 132 et 134 ; bassin ionien, site 374 ; bassin d'Antalya, site 376). Ces dernières prennent un développement nettement plus important en Méditerranée orientale, conduisant à la formation d'une masse salifère difficilement différenciable. J'ai insisté sur le fait que la correspondance entre extension du sel massif et contours des plaines abyssales, si elle est globalement vérifiable, n'a pas valeur de règle absolue :

— les exemples d'obliquité des limites respectives sont fréquents (fig. 1) ;

— des bassins salifères comparables existent dans les parties actuellement émergées comme les bassins de Caltanissetta en Sicile ou de Crotone en Calabre et avec une importance nettement plus réduite en Toscane (Volterra) et à Chypre (Mésaorée) ;

— les phénomènes d'halocinèse et de migration du sel ont inévitablement modifié l'extension originelle des formations salifères.

Généralement, en direction des marges, le sel massif se biseaute rapidement ; différents schémas peuvent alors être observés : passage à une formation exclusivement sulfatée ou à une surface d'érosion.

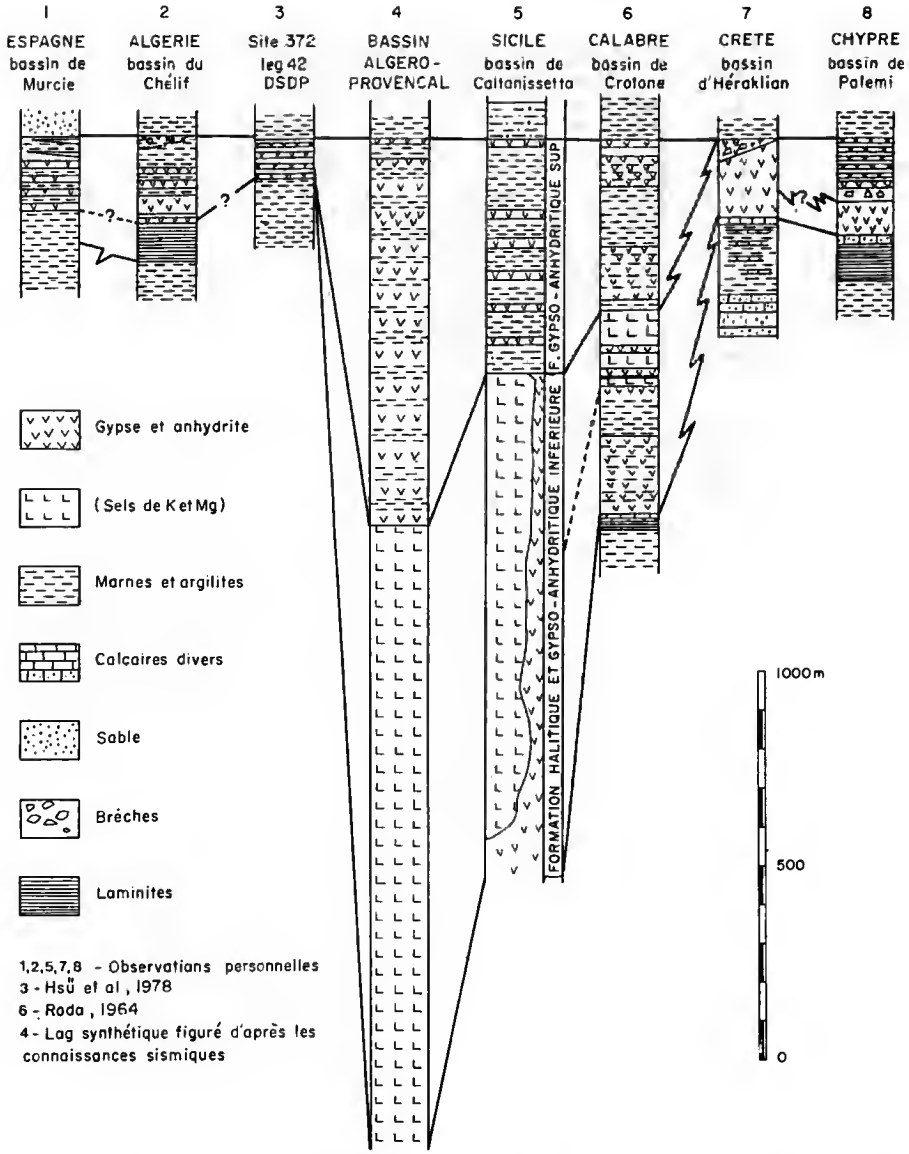


Fig. 2. — Comparaison de quelques formations évaporitiques caractéristiques des plaines abyssales actuelles (4), de leurs équivalents actuellement émergés (5, 6) et des bassins marginaux (1, 2, 3, 7, 8) ; noter les différences importantes qui apparaissent entre le site 372 et la colonne composite du bassin algéro-provençal et sa similitude avec celle des bassins marginaux actuellement émergés. La distinction des deux termes gypso-anhydritiques dans certaines coupes (Polemi, 8) repose sur des similitudes remarquables au niveau des successions lithologiques et sur l'existence d'une brèche matérialisant la limite entre les deux unités.

Comparison of some evaporitic formations caracteristic of the deeper part of the basin (4) and its now emerged equivalents (5 and 6) and some sections of marginal reduced evaporitic formations (1, 2, 3, 7, 8) ; among these latters some present two superposed gypsum bodies (8), one others, only one probably equivalent with lower gypsum of central parts (7) or one indistinct gypsum unit (1, 2, 3) ; note also the extremely reduced thickness of the evaporites of the site 372 that appears incomparable with " deeper part " type formation and strictly identical to those of marginal parts.

Dans le premier cas, cette formation pourrait correspondre : 1) soit à l'étalement du terme gypso-anhydritique supérieur au-delà des limites d'extension du terme salifère massif (marge baléare par exemple) ; 2) soit à l'individualisation possible du seul terme gypso-anhydritique inférieur (Héraklion en Crète, Psematismenos à Chypre, etc.) ; 3) soit à l'ensemble des deux termes gypso-anhydritiques superposés (Ciminna en Sicile, Polemi à Chypre, etc.) ; 4) soit au contraire à une formation unique qu'il est difficile de corréler objectivement avec les différents termes observés dans les parties centrales.

Dans le second cas, une surface d'érosion, souvent mal datée, prolonge les évaporites au-delà de leur limite d'extension selon des modalités variées : 1) recouvrement de la surface d'érosion dans sa partie aval par le terme salifère (golfe du Lion : P. F. Burollet et R. Byramjee, 1974 ; M. B. Cita *et al.*, 1978) ; il n'est pas impossible toutefois que certaines figures observées soient en partie au moins liées au mouvement du sel : 2) recouvrement et remplissage par les évaporites supérieures (A. Mauffret, 1976 ; L. Montadert *et al.*, 1978) ; 3) érosion du toit des évaporites supérieures (mer Tyrrhénienne, Aleria, 1978 ; à terre, Piémont, P. Clari, 1979 ; à Chypre, J.-M. Rouchy *et al.*, 1980) ; 4) surfaces polygéniques (marge israélienne, G. Almagor, 1980). Outre cette multiplicité des cas de figure, il faut insister sur le fait que la datation des phénomènes de surcreusement de certaines paléovallées, intégralement corrélé par certains auteurs avec l'abaissement du niveau de base consécutif à la sédimentation salifère, est encore imprécise et pourrait découler de mécanismes composites (tectonique et abaissement du plan d'eau) : c'est le cas de la vallée du Rhône, affectant une région qui a commencé à émerger dès le Tortonien au moins, de celle du Nil comprise entre des niveaux oligocène et pliocène élevé, des canyons des Stoechades, etc.

La limite mio-pliocène correspond, dans la plupart des coupes étudiées ou déjà publiées, au rétablissement très rapide des conditions de mer ouverte succédant à des milieux particuliers de type laguno-lacustre ; la discontinuité peut être seulement d'ordre paléoécologique dans une série marneuse géométriquement continue, ou bien marquée par une discordance angulaire comme dans les Apennins (G. B. Vai et F. Ricci-Lucchi, 1976) ou dans le bassin de Pissouri à Chypre (J.-M. Rouchy *et al.*, 1980), par la présence de figures de dessiccation au sommet du Messinien et par l'intercalation d'horizons conglomératiques, etc.

Il est important de souligner que si, localement, la mer pliocène envahit, au-delà de la limite d'extension du Messinien, une paléosurface d'érosion (domaine rhodano-languedocien par exemple), dans de très nombreux autres cas, *elle demeure nettement en retrait de l'extension maximum de la mer messinienne* (Espagne, Maroc, Algérie, Chypre, etc.) ; elle ne recolonise alors que partiellement un domaine qui a subi une profonde réorganisation paléogéographique. Celle-ci ne représente pas, sauf exception, *un événement tectonique brutal mais vraisemblablement un « instantané », révélé grâce aux conditions hydrologiques favorables de cette période, d'une restructuration tectonique permanente* qui conduira progressivement à l'acquisition des caractères de la Méditerranée actuelle.

B. — L'état actuel des recherches

Des études fines et détaillées, réalisées notamment dans les bassins actuellement émergés, ont fourni une connaissance relativement précise de la stratigraphie et de la paléoécologie des formations messiniennes, de la pétrographie et des paléomilieux de dépôt des différents types de sédiments évaporitiques, de l'agencement des principaux corps sédimentaires et de l'évolution paléogéographique des bassins. L'investigation des formations immergées a été conduite selon deux voies : la prospection sismique qui a fourni une représentation souvent détaillée de la répartition des grands ensembles sédimentaires et de leurs épaisseurs ; de nombreuses incertitudes persistent néanmoins dans certaines régions concernant plus particulièrement les sédiments sous-jacents au sel massif. L'apport des sondages DSDP (Leg 13 et 42A) fut évidemment considérable, onze sondages ayant atteint ou traversé partiellement le Messinien évaporitique ; il convient toutefois de ne pas perdre de vue l'extrême dispersion de ces données eu égard aux dimensions du domaine étudié et à sa diversité géologique et le fait que ni le terme salifère massif pourtant si souvent utilisé à des fins d'interprétation génétique, ni les sédiments infraévaporitiques n'ont été touchés : les sondages n'ont généralement atteint que la partie superficielle du terme supérieur (parfois à faciès halitique) ou traversé entièrement des formations évaporitiques d'épaisseur réduite, identiques aux formations dites marginales des bassins émergés (site 372, 50 m d'évaporites ; 375, 100 m environ d'évaporites). Une incertitude persiste donc quant à l'âge réel des masses salifères ; *la présence de microfaune a permis de dater du Messinien le sel de Sicile* (J.-M. Rouchy, 1981) et, par extrapolation, d'envisager le même âge pour celui de Méditerranée occidentale ; d'autres études seront nécessaires pour confirmer l'appartenance au Messinien de la totalité du sel de Méditerranée orientale. C'est une lacune grave à laquelle devront s'efforcer de remédier les programmes futurs de recherche et que le présent travail a tenté de pallier par l'examen détaillé d'un équivalent actuellement émergé : le bassin de Caltanissetta en Sicile.

C. — Les hypothèses génétiques déjà proposées

Plusieurs conceptions, nettement opposées par certains de leurs aspects, se sont affrontées dès le début ; le conflit porte notamment :

— sur la profondeur maximum de la Méditerranée avant, pendant et après l'épisode évaporitique : plusieurs milliers de mètres (K. J. Hsü *et al.*, 1973 ; M. B. Cita, 1973, 1979, etc.) ou quelques centaines de mètres (W. D. Nesteroff, 1973, etc.) : un certain rapprochement des points de vue s'est néanmoins opéré après le Leg 42 A, en retenant une valeur un peu supérieure à un millier de mètres (L. Montadert, K. J. Hsü *et al.*, 1978 ; Wright, 1978), valeur très peu différente de celle qu'obtiennent par une approche géophysique M. Genesseaux et D. Lefebvre (1980) et J. P. Rehault (1981), par exemple ; dans ce travail, je suis amené à proposer, pour la profondeur de la Méditerranée occidentale avant la phase évaporitique, une valeur également voisine mais pas supérieure au millier de mètres ;

— sur les modalités de dépôt des évaporites : après dessèchement complet dans des milieux résiduels de type sabkha ou playa (K. J. Hsü *et al.*, 1973) ou bien sous tranche d'eau d'épaisseur différente selon les auteurs ; c'est le modèle océanique de R. Selli (1973), le modèle dynamique de bassin peu profond de F. H. Fabricius et W. Hieke (1976), les interprétations de J.-M. Rouchy (1976, 1980, 1981), G. Busson (1979), D. Neev (1979). D'autres modèles combinent plusieurs modalités : phase de préconcentration d'une tranche d'eau profonde suivie d'un assèchement (J. A. Van Couvering *et al.*, 1976). Soulignons également la proposition de G. Gvirtzmann et B. Buchbinder (1976) qui interprètent les masses de sel de Méditerranée orientale comme ayant été déposées dans de vastes dépressions endoréiques comparables à la mer Morte et alimentées par les fleuves ou les apports d'origine paratéthysienne, rejoignant partiellement en cela l'hypothèse formulée par P. Sonnenfeld (1974), ainsi que celle des lacs alcalins proposée pour la même région par K. J. Hsü *et al.* (1973).

II. EXPOSÉ DES PROPOSITIONS NOUVELLES

Le but de ce travail n'était pas de prendre parti pour ou contre tel modèle mais, affranchi de toute contrainte dogmatique, de tenter de dresser un schéma explicatif le plus conforme possible aux faits d'observation recueillis dans l'ensemble du domaine.

A. — L'origine et les modalités de dépôt des principaux sels

1 — *La nécessité d'une origine marine et les phénomènes de dilution par les eaux météoriques*

L'analyse systématique du contenu organique des intercalations marneuses entre les bancs évaporitiques ou dans les évaporites elles-mêmes, permet de mettre en évidence l'origine principalement marine de celles-ci : foraminifères planctoniques et benthiques dans le sel massif de Caltanissetta (sondages Cattolica 5 et Siculiana 1), nanoplancton dans le gypse finement lité (balatino, J.-M. Rouchy, 1976) ou dans le gypse sélénite de Sicile, populations de diatomées des diatomites intraévaporitiques de Sicile et de Chypre (Polemi, Psematismenos), etc. ; de tels indices de milieux marins ont été également reconnus dans les intercalations marneuses de certains sondages DSDP (M. B. Cita, 1975 ; G. Bizon *et al.*, 1978). Une donnée est toutefois fondamentale pour la suite du raisonnement, c'est le fait que, paradoxalement, lorsque l'on se rapproche des évaporites, les populations de diatomées, par exemple, montrent l'apparition puis l'augmentation de la proportion de formes d'affinités saumâtres ou d'eau douce. Cela correspond à l'établissement de milieux résiduels aux paramètres physico-chimiques devenus plus instables. Leur importance va ensuite s'accroître en s'élevant dans la série, en même temps qu'apparaîtront et se développeront les faunes eury- à oligohalines (*Cyprideis*, *Ammonia*, *Congeria*, *Limnocardium*, *Melanopsis*, etc.) au point de devenir le peuplement fossile exclusif dans la partie terminale de la formation évaporitique. Parallèlement, les études isotopiques (^{18}O, ^{34}S et ^{2}H) réalisées

sur le matériel d'Espagne, d'Algérie et de Chypre (J.-M. Rouchy et C. Pierre, 1979 ; C. Pierre et J.-M. Rouchy, 1981) sont en accord avec les résultats obtenus par ailleurs en Sicile et dans les sondages DSDP (C. Pierre, 1973 ; C. Pierre et J. C. Fontes, 1978) et établissent bien l'origine marine des sulfates, mais également l'intégration de très fortes proportions d'eaux météoriques dans le réseau ; d'ailleurs, à Chypre, l'étude détaillée des stromatolithes préévaporitiques a permis de montrer l'existence au moins épisodique de milieux non marins (J.-M. Rouchy et C. L. Monty, 1980). A l'opposé, les études du rapport Br/Cl (J.-M. Rouchy, 1981, fig. 16) des halites du bassin de Caltanissetta confirment bien l'origine marine pour ce terme inférieur, tandis qu'au niveau des lentilles salifères supérieures des sondages DSDP, apparaissent des indices de remobilisation par les eaux continentales (R. Kuehn et K. J. Hsü, 1978).

L'origine marine des principaux sels (sulfates et chlorures) apparaît donc comme un fait bien établi, même si l'influence des eaux continentales prend une importance considérable dans certains cas et croissante du bas vers le haut de la formation ; les deux faits ne sont nullement incompatibles, les milieux évaporitiques étant des milieux résiduels extrêmement vulnérables aux modifications de l'environnement climatique ; ils peuvent subir, de ce fait, des fluctuations de salinité importantes.

Toutefois, ces mêmes études de géochimie isotopique ont permis de caractériser, dans certains bassins périphériques précocement isolés du domaine marin, des phénomènes de recyclage de sels triasiques par les eaux continentales ; ces conditions endoréiques, ainsi mises en évidence dans le bassin de Grenade en Espagne (J.-M. Rouchy et C. Pierre, 1980 ; C. Pierre et J.-M. Rouchy, 1981), pourraient être recherchées dans d'autres sites paléogéographiques comparables : bassin de Guercif au Maroc, certains bassins distaux d'Algérie et de Tunisie, etc.

2 — *Les modalités de dépôt des sels*

L'étude conjointe des caractères sédimentologiques (habitus des évaporites, contenu organique des intercalations, relations avec les sédiments encaissants) illustre la diversité des modalités de dépôt des sédiments observés : cristallisations sous-aquatiques à partir d'une tranche d'eau subpérenne, phénomènes de diagénèse précoce sous-aquatique ou subaérienne (anhydrite nodulaire, gypses lenticulaires, etc.) ; la répartition de ces deux grands types de faciès « primaires » peut définir dans le bassin soit une *zonalité horizontale* (faciès sous-aquatiques au centre des bassins avec une auréole de faciès de diagénèse précoce) soit une *superposition complexe dans le temps* (exemple des bassins distaux d'Espagne méridionale) liée aux fluctuations du niveau des saumures assorties parfois de phases d'émersion temporaires ou durables. L'accent a été mis sur l'importance d'une distinction entre les faciès de diagénèse précoce subaérienne et les produits d'une diagénèse tardive liée à l'enfouissement (gypse/anhydrite/gypse) et influencée par différents facteurs (gradient thermique local, sismicité, piégeage de saumures concentrées, etc.) qui peuvent ainsi engendrer des convergences morphologiques à l'origine de confusions au niveau de l'interprétation. Les phénomènes de réduction de sulfates avec formation de soufre natif prennent un développement important au contact laminites/évaporites.

La halite du bassin de Caltanissetta résulte en majeure partie d'un dépôt sous-aquatique à partir d'une saumure d'origine marine, même si vers le sommet de la formation, notamment, les phénomènes de dissolution/recristallisation en présence d'eaux météo-

riques sont possibles, l'intervention en présence des eaux météoriques devenant très nette au niveau du terme supérieur.

B. — Succession et agencement des corps sédimentaires

1 — *La succession verticale des faciès : notion de progressivité du confinement*

La progressivité du confinement se traduit dans chacun des bassins considérés par le dépôt d'une séquence caractéristique comportant de la base vers le sommet : marnes marines, laminites préévaporitiques, termes de transition et évaporites ; la sédimentation préévaporitique est caractérisée non seulement par la présence des laminites mais par l'abondance des diatomites (tripolis), subdivisées en deux types principaux (fig. 3) :

— les diatomites de type 1, plus massives, présentant généralement une lamination plus frustre, localisées en marge de certains bassins de Méditerranée occidentale avec une extension géographique réduite (col de los Ginovinos à Murcie, Sidi Hadj Youssef à Boudinar, marge sud du bassin du Chelif, certaines laminites de Sicile, etc.) ; le dépôt de ces diatomites, absentes de Méditerranée orientale, est mis en relation avec le fonctionnement local de systèmes d' « upwellings » assurant une forte productivité et témoignant (outre un régime climatique particulier : vents) d'une circulation marine active dans le bassin ; un appauvrissement du milieu en oxygène permet ainsi le dépôt de laminites ;

— les laminites et laminites diatomitiques de type 2, occupant toute la partie centrale des bassins de Méditerranée occidentale ou orientale, de nature principalement diatomitique mais aussi calcaire (à nanoplancton ou à aragonite notamment en Méditerranée orientale) ; caractérisées par la richesse en matière organique, la préservation de la lamination, la présence locale d'indices de milieux réducteurs (réduction de sulfates avec formation de soufre natif), elles traduisent un confinement plus étendu et plus généralisé de la tranche d'eau avec stratification et individualisation d'un corps inférieur appauvri en oxygène ou franchement euxinique.

En plus du fait qu'elles traduisent la rupture définitive des conditions marines actives dans le bassin et l'intensification du confinement, il apparaît, à l'examen de la faune, de la microfaune et de la flore, qu'elles se caractérisent également par une réduction verticale progressive de l'épaisseur de la tranche d'eau dans laquelle elles se déposent jusqu'à des valeurs très faibles localement à la base des évaporites ; elles alternent d'ailleurs vers le sommet avec des bancs évaporitiques sur les bords du bassin de Lorca (Espagne), avec des calcaires provenant de réduction d'anciens niveaux sulfatés en Sicile, avec des niveaux stromatolithiques dans les bassins d'Héraklion, de Polemi et de Psematismenos, et avec des niveaux à structure chaotique. Vers le sommet encore, apparaissent les premiers indices sensibles de dessalure dans la flore diatomitique et même l'apparition locale de milieux non marins favorables au développement de stromatolithes (J.-M. Rouchy et C. L. V. Monty, 1980), attestant alors la généralisation de milieux résiduels caractérisés dès lors par d'amples variations des paramètres physico-chimiques (profondeur, salure, etc.) qui prévaudront pendant la plus grande partie de la sédimentation évaporitique. Ce deuxième type de laminites se rencontrera à l'intérieur de la formation évaporitique où elle déterminera une très nette cyclicité des mécanismes sédimentaires.

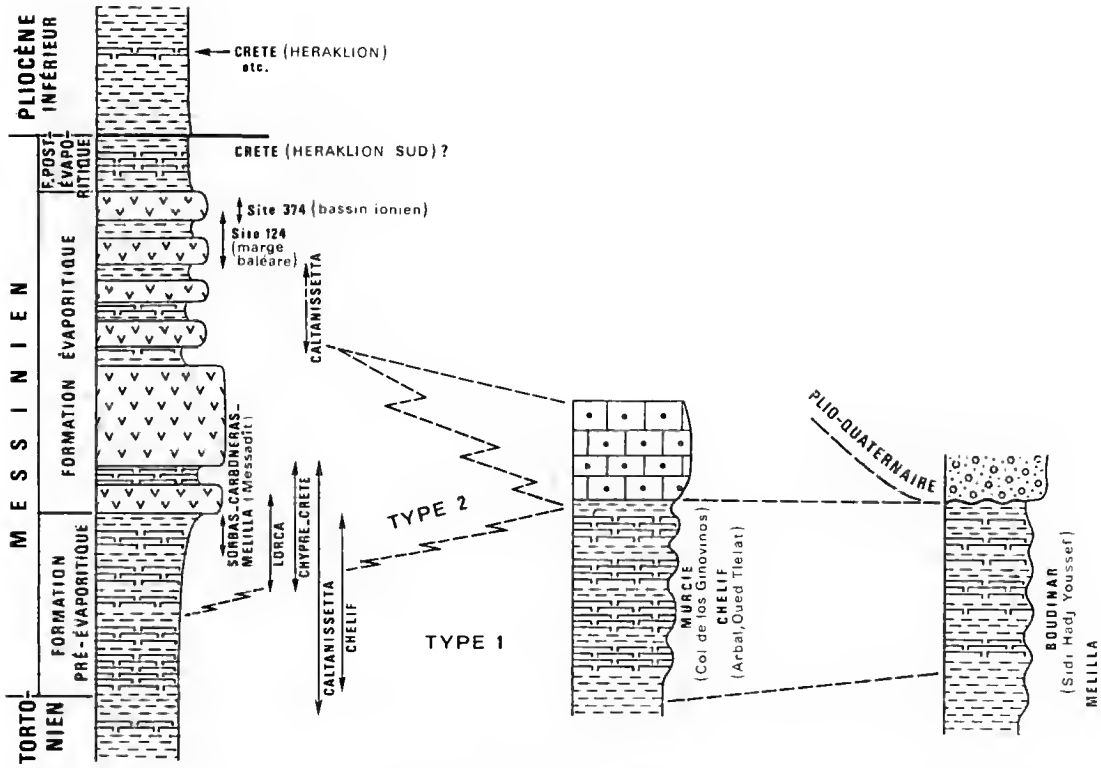


Fig. 3. — Position schématique des épisodes de diatomites ou de laminites diatomitiques ou calcaires dans la séquence évaporitique messinienne.

Schematic position of the diatomitic and laminated sediments in composite messinian evaporitic column from three distinct paleogeographic sites. Note the two types of diatomites : type 1, in marginal parts of the evaporitic basins or in marginal basins without evaporites, that is correlated with local upwelling processes (see text) ; type 2, at the base of the evaporites in the whole area of the evaporitic basins and significative of restricted conditions with more stable stratification of the water body ; these latter are also intercalated at several levels within the evaporitic formations. Type 1 is caracteristic of the western part of the Mediterranean.

2 — *Les relations calcaires récifaux/laminites/évaporites : les fluctuations du niveau aquatique et leurs conséquences*

La reconstitution des relations géométriques et génétiques entre ces trois grands types de sédiments a été réalisée à partir de l'étude des édifices récifaux du cap des Trois Fourches (Maroc), du Djebel Murdjadjo (Algérie), des bassins de Lorca (Espagne), Héraklion (Crète), Psematismenos (Chypre) et de la comparaison avec d'autres édifices tels que celui de Santa Pola (Espagne) étudié par A. Maurin *et al.* (1980 et communications personnelles). Les études réalisées en Algérie m'ont permis en particulier de mettre en évidence l'existence d'un important édifice récifal à Coralliaires au Djebel Murdjadjo près d'Oran et de reconstituer précisément les relations avec les différents composants de la séquence messinienne ;

la validité du schéma d'agencement des corps sédimentaires et d'évolution du complexe récifal a été confirmée par l'étude du récif du Miocène moyen d'Abu Shaar el Qibli en Égypte (J.-M. Roucuy, 1979).

Les calcaires construits à Coralliaires sont principalement développés sur les marges des bassins de Méditerranée occidentale (fig. 4), à proximité des zones de communications supposées avec l'océan ; l'édification récifale semble plus réduite en Méditerranée orientale où l'âge messinien des grands édifices ne paraît pas toujours assuré et où il s'agit plutôt de véritables plates-formes carbonatées biodétritiques ou à Mélobésiées.

Parmi les caractéristiques essentielles des récifs messiniens, je retiendrai : 1) la nette tendance à la composition monospécifique des communautés de constructeurs dominées

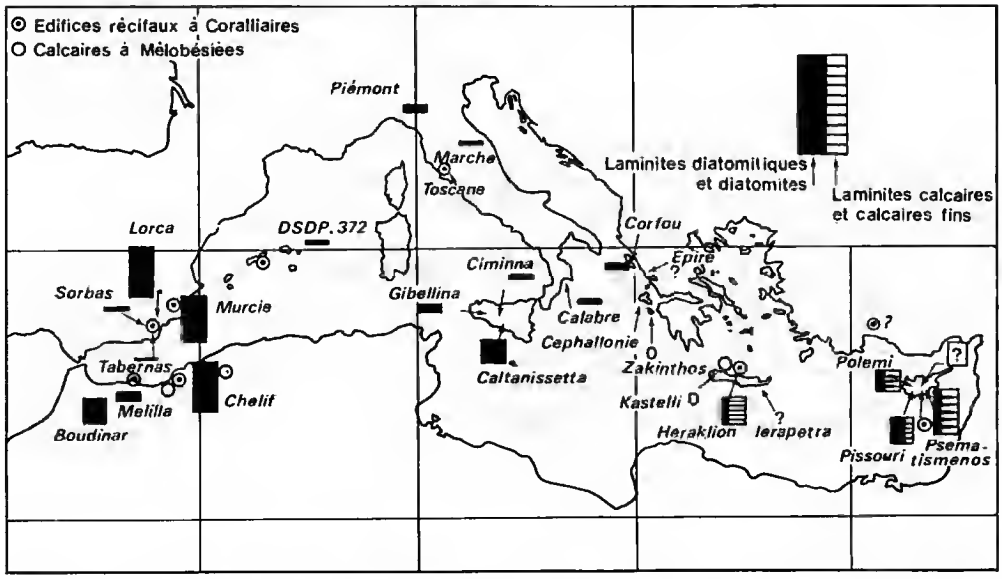


Fig. 4. — Carte de répartition schématique des principales formations à diatomites et à laminites diatomitiques ou carbonatées (la hauteur de la colonne est proportionnelle à l'épaisseur de la formation) ; sont également reportés sur cette carte les principaux édifices récifaux.

Schematic repartition of major diatomitic and laminated sediments (height of the column is proportional to the thickness of the formation) ; major late miocene reefs are also reported.

par le genre *Porites*, qui marque l'aboutissement d'une tendance déjà exprimée dès le Tortonien plus nettement en Méditerranée occidentale qu'orientale où persistent, à cette époque, des assemblages plus diversifiés ; 2) l'importance des phénomènes de progradation centrifuge descendante des colonies de Coralliaires à la périphérie de certains édifices qui permettent d'évaluer très grossièrement un abaissement du niveau aquatique obligeant les colonies à rechercher vers le centre du bassin des conditions de vie plus favorables ; 3) la superposition locale de deux ensembles, l'un inférieur à Coralliaires, l'autre supérieur à stromatolithes, séparés par une discontinuité soulignée par une surface de karstification avec restes de tortues terrestres (C. Montenat, 1973) à Santa Pola ou par un niveau de brèches au Djebel Murdjadjo.

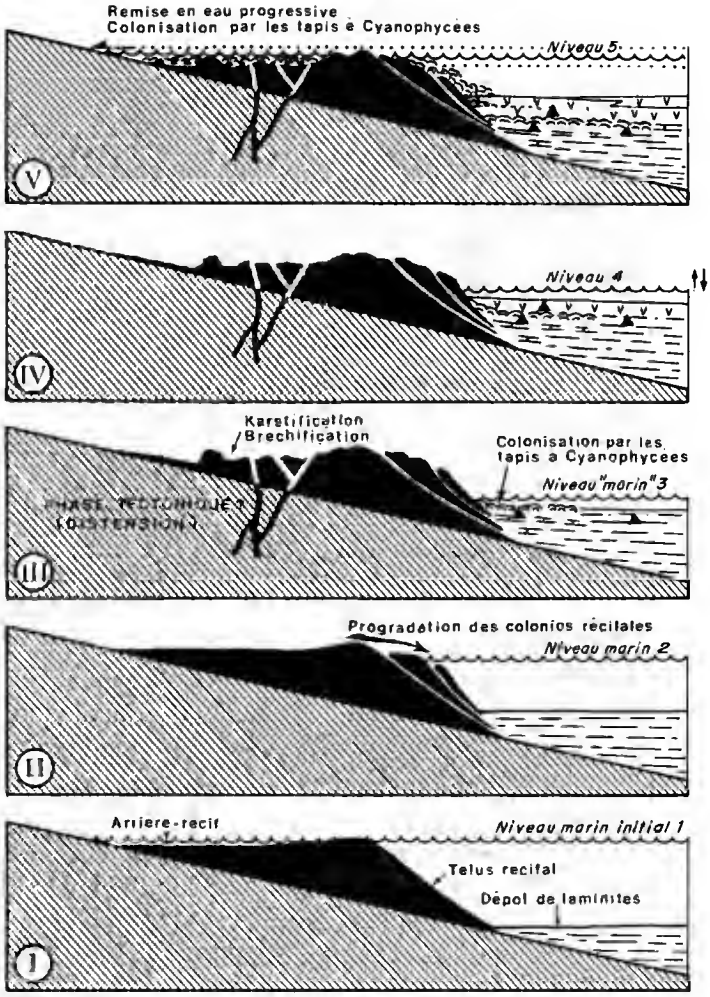


Fig. 5. — Les étapes successives de l'évolution d'un complexe récifal messinien et ses relations géométriques et génétiques avec les autres types de sédimentation ; coupes composites établies d'après les exemples de Melilla, du Djebel Murdjadjo et de Santa Pola.

Tentative reconstruction of the different evolutive stages of a reef complex (Coral and stromatolitic reefs) and its relations with preevaporitic laminites and evaporites (composite sections obtained from Melilla : Marocco, Djebel Murdjadjo ; Algeria and Santa Pola : Spain, exemples) ; several fundamental processes appear in the diagramm : downward prograding coral lenses, episodic drop of the sea level during concentration stages and subsequent karstification and erosion of the emerged part of the reef, anteriority of the coral build-up with respect to evaporitic phase, colonisation of the restricted sedimentary environments by cyanobacterial activity after the definitive interruption of Coral build-up at the end of the preevaporitic phase.

L'étude des relations géométriques a montré que, dans tous les cas examinés, l'édification récifale à Madréporaires ou à Mélobésiées (bordure sud du Chélif) précède la sédimentation évaporitique, même si cette dernière se développe en contrebas topographique du sommet des édifices ; elle est, au plus tard, contemporaine d'une partie seulement des laminites de type 2 ; en effet, pour des raisons sédimentologiques et écologiques évidentes, l'activité constructrice a cessé définitivement dans les bassins lorsque, au centre de ceux-ci, se développaient les stromatolithes ou les premiers bancs évaporitiques intercalés dans les laminites terminales ; dès cet instant, la majeure partie des édifices tendait à émerger, marquant le début d'une phase d'altération et de démantèlement qui allait se poursuivre pendant une grande partie de la sédimentation évaporitique. Aucune des phases de remise en eau du bassin n'a permis le rétablissement de cette activité ; tout au plus, celles-ci permettaient-elles la colonisation par les tapis cyanobactériens qui, dans des conditions favorables de milieu, allaient devenir l'un des composants biologiques principaux de la période évaporitique. En effet, A. F. Maurin *et al.* (1980) ont montré qu'il n'y avait pas, à Santa Pola, de superposition répétitive de niveaux à Corolliaires et à stromatolithes, mais un recouvrement distinct d'un récif à Madréporaires par une masse à stromatolithes.

L'ensemble de ces caractères amène à considérer des abaissements épisodiques du niveau aquatique dans le bassin, qui ont débuté dès la fin de la sédimentation des laminites au cours de la période d'affrontement avec les conditions évaporitiques ; cet abaissement, dont la valeur maximum observée[1] pourrait être de l'ordre de 200 m, s'accompagne inévitablement d'une rétraction importante de l'aire de sédimentation qui migre vers les parties les plus centrales du bassin, expliquant en partie au moins le dispositif géométrique précédemment décrit et certains mécanismes sédimentaires tels que les progradations centripètes des corps carbonatés en Espagne notamment.

3 — *L'agencement spatio-temporel des corps sédimentaires : le diachronisme de la sédimentation évaporitique*

Le paragraphe précédent a déjà mis en relief l'importance de la notion de diachronisme dans la sédimentation préévaporitique, notion qui devient nettement plus complexe si l'on prend en compte l'ensemble du domaine ; en effet, chacune des étapes du confinement, précédemment décrites, se réalise avec un décalage dans le temps, débutant plus précocement sur les marges qu'au centre du bassin.

L'exemple du bassin de Caltanissetta en Sicile permet de mieux comprendre ce mécanisme (fig. 6, 7). Le sel massif (comportant des intercalations de sels potassiques dont l'épaisseur atteint 700 m) forme des lentilles discontinues qui, globalement, occupent une dépression septentrionale ; cette zone à sédimentation halitique est frangée par une formation gypso-anhydritique dite « inférieure » qui ne se poursuit pas de manière isopaque sous le sel massif, mais s'y réduit considérablement ; l'ensemble définit ainsi un passage latéral diachrone mais non une superposition comme cela était envisagé par de nombreux auteurs. Dans cette optique, la discordance angulaire qui sépare les deux termes gypso-anhydritiques dans ce bassin mais aussi en Calabre (et jamais au niveau des plaines abyssales), peut s'expliquer aisément par des phénomènes de « collapse » en relation avec une dissolution d'intercalations salifères dans la frange d'interdigitation entre sel massif et

1. Ce qui n'exclut pas l'existence de valeurs localement supérieures.

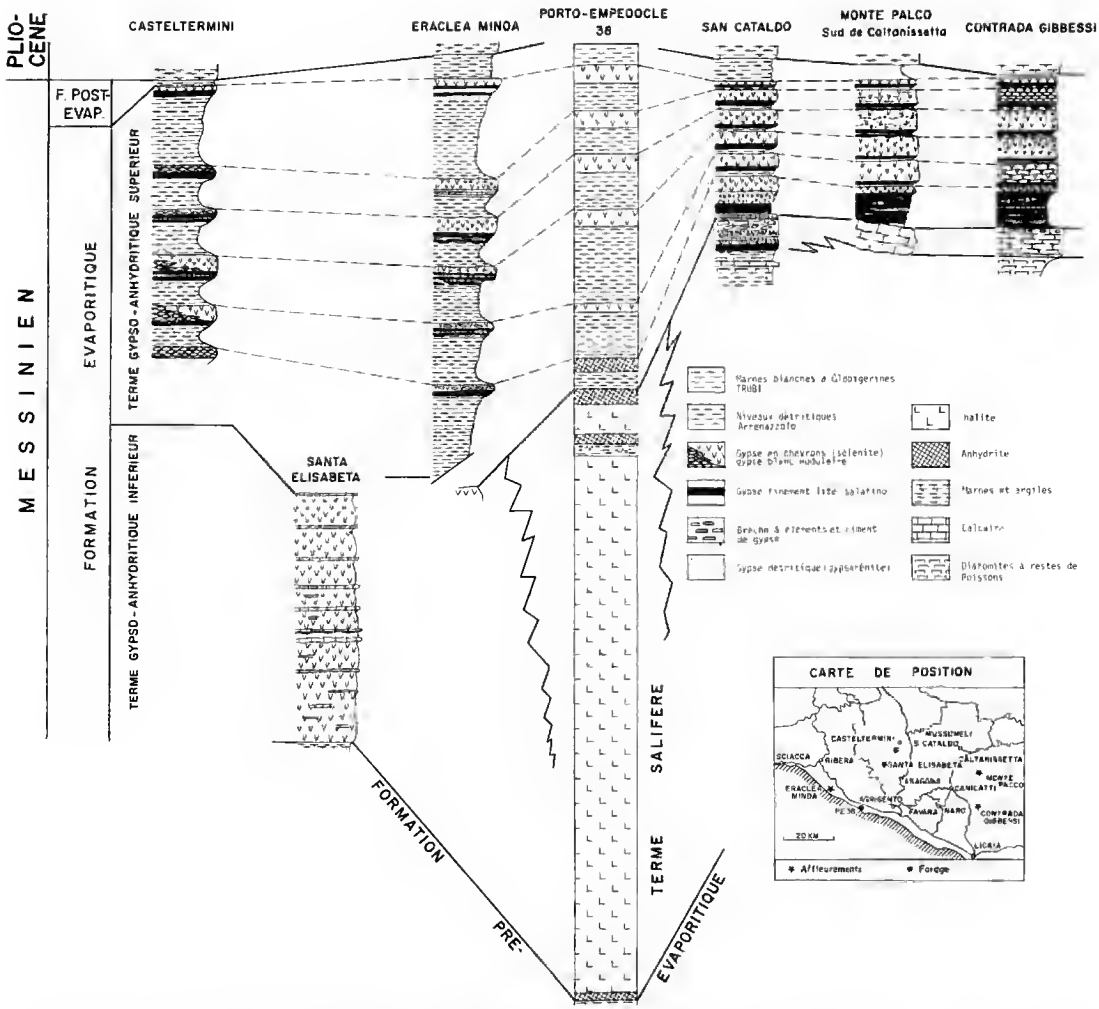


Fig. 6. — Série de coupes illustrant l'évolution latérale de la séquence évaporitique messinienne dans le bassin de Caltanissetta (Sicile).

Sections from Caltanissetta basin (Sicily) showing the organisation in time and space of the major sedimentary units. Note the apparent disparition of the lower gypsum body below the thick salt unit, the thickening of the upper gypsum in the central area in relation with continuous subsiding activity.

terme gypseux inférieur. Sur le plan de l'interprétation, après le dépôt des sédiments pré-évaporitiques, la sédimentation évaporitique débute, dans les parties marginales, par le dépôt de sulfates qui seront ou non réduits en carbonates pendant que la partie centrale demeurera le siège d'un dépôt de laminites ; elle progresse ensuite avec le confinement croissant vers le centre demeuré en état de vacuité, dans lequel se déposera le sel massif et les sels ultimes. Le dispositif obtenu résulte donc conjointement et corrélativement de l'augmentation de la concentration du milieu, de l'abaissement du plan d'eau et de la

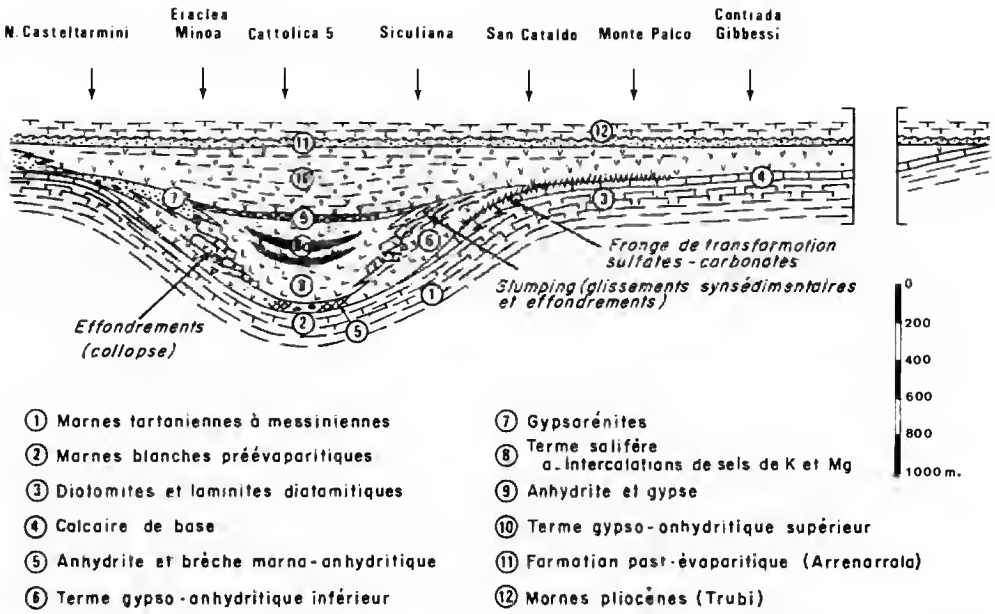


Fig. 7. — Schéma interprétatif des relations géométriques et spatio-temporelles entre les principaux corps sédimentaires dans le bassin de Caltanissetta (Sicile).

Interpretative diagramm of the geometric and stratigraphic relations between the major evaporitic units in Caltanissetta basin (Sicily) ; this figure illustrates the relations between lower gypsum and massive salt body allowing to understand the angular unconformity that separes these two units and which is interpreted as collapse processes.

restriction du domaine sédimentaire, de la migration des saumures les plus concentrées vers les parties les plus déprimées du système et du rôle du piège morphologique sous forme d'une cuvette ; il est probable qu'une répartition comparable des faciès aurait caractérisé le terme supérieur si la concentration du milieu avait été suffisante pour atteindre la saturation en halite. Ce schéma est d'ailleurs corroboré par l'examen de certains sites actuels tels que les Salins en exploitation de Santa Pola en Espagne méridionale dans lesquels la précipitation du gypse débute sur la bordure peu profonde de chacun des bassins ou sur les points hauts réalisés par les tapis algaires bulbeux et progresse ensuite vers le centre des bassins au fur et à mesure que la concentration augmente et que la profondeur se réduit par suite de l'abaissement consécutif du plan d'eau (J.-M. Rouchy, 1981).

Les enseignements tirés de ces observations ont une portée d'autant plus grande qu'ils permettent de mieux comprendre l'agencement possible des corps évaporitiques dans les parties actuellement profondes du bassin (fig. 8). Le piège morphologique constitué par les dépressions préfigurant les plaines abyssales explique la localisation des corps halitiques dans ces zones ; dans ce cas, si la nécessité de l'existence d'un terme gypso-anhydritique inférieur (au sens chronologique et non plus géométrique de formation infrasalifère) s'impose dans la logique d'un confinement progressif d'une tranche d'eau marine, celui-ci doit être recherché, pour la majeure partie, sur les marges de ces grands bassins et non directement

sous le sel, d'une part, et peut-être dans les bassins marginaux qui auraient constitué des annexes évaporitoires (voir formations inférieures de Polemi ; formations uniques de Psematismenos, Héraklion ; parties plus ou moins importantes des formations gypseuses mal différenciées des autres bassins) ; d'autre part, ceci renforce l'hypothèse que j'ai proposée d'une équivalence des réflecteurs N avec les laminites préévaporitiques, même si ceux-ci renferment bien dans leur partie supérieure des intercalations sulfatées et (ou) calcaires.

L'agencement des corps évaporitiques sera donc généralement caractérisé par un dispositif en auréoles concentriques emboîtées, non superposées et marquées par des faux passages latéraux, décalés dans le temps, qui résultent de l'interaction étroite entre différents mécanismes :

— un contrôle morphologique et (ou) structural qui crée le piège, fournit le cadre de la sédimentation et contrôle la répartition des corps sédimentaires ;

— la dynamique du confinement qui impose l'ordre et la répartition des corps salins en fonction de l'évolution de la concentration, des abaissements temporaires du plan d'eau, de la rétraction du domaine de sédimentation, des migrations de saumures, de l'étagement du système, etc.

Ce diachronisme du confinement qui migre en s'intensifiant des marges vers le centre du bassin explique ainsi la répartition générale des faciès et des différents types de bassins illustrée dans la figure 8 : dépressions endoréiques précocement isolées avec ou sans dépôt d'évaporites à la périphérie du domaine, bassins à formation sulfatée d'épaisseur réduite et enfin bassins salifères au centre ; il apparaît nettement que les laminites des parties centrales peuvent constituer l'équivalent d'évaporites dans les parties marginales par exemple. Bien que modifié dans son expression finale par d'autres paramètres probablement d'ordre climatique (voir ci-dessous), le mécanisme a pu jouer au niveau du terme supérieur.

C. — Le cadre paléomorphologique et l'influence de la tectonique

La caractérisation du cadre morphologique introduit nécessairement la notion de profondeur du domaine méditerranéen, point de départ des querelles qui ont marqué l'interprétation de l'événement messinien. La répartition des corps évaporitiques et la localisation des fortes épaisseurs d'évaporites mettent en relief le rôle prédominant du piège morphologique caractéristique d'un site de cuvette au sens de G. Busson (1978) ; on peut considérer que les plaines abyssales actuelles étaient déjà partiellement esquissées sous forme de cuvettes avec des contours légèrement différents comme permettent de le supposer les réserves précédemment admises concernant la coïncidence entre contours bathymétriques et extension du sel. Les critères d'évaluation de leur profondeur avant la phase évaporitique sont rares : la signification bathymétrique des organismes ne peut être utilisée directement puisque les sédiments infrasalifères n'ont jamais été atteints ; l'amplitude des phénomènes de surcreusement messinien mériterait d'être revue dans l'optique d'une datation plus précise et d'une prise en compte de la tectonique dès lors que les zones considérées ont émergé longtemps avant l'abaissement messinien du plan d'eau (voir *supra*). Indirectement, les informations fournies par la microfaune dans tous les bassins actuellement

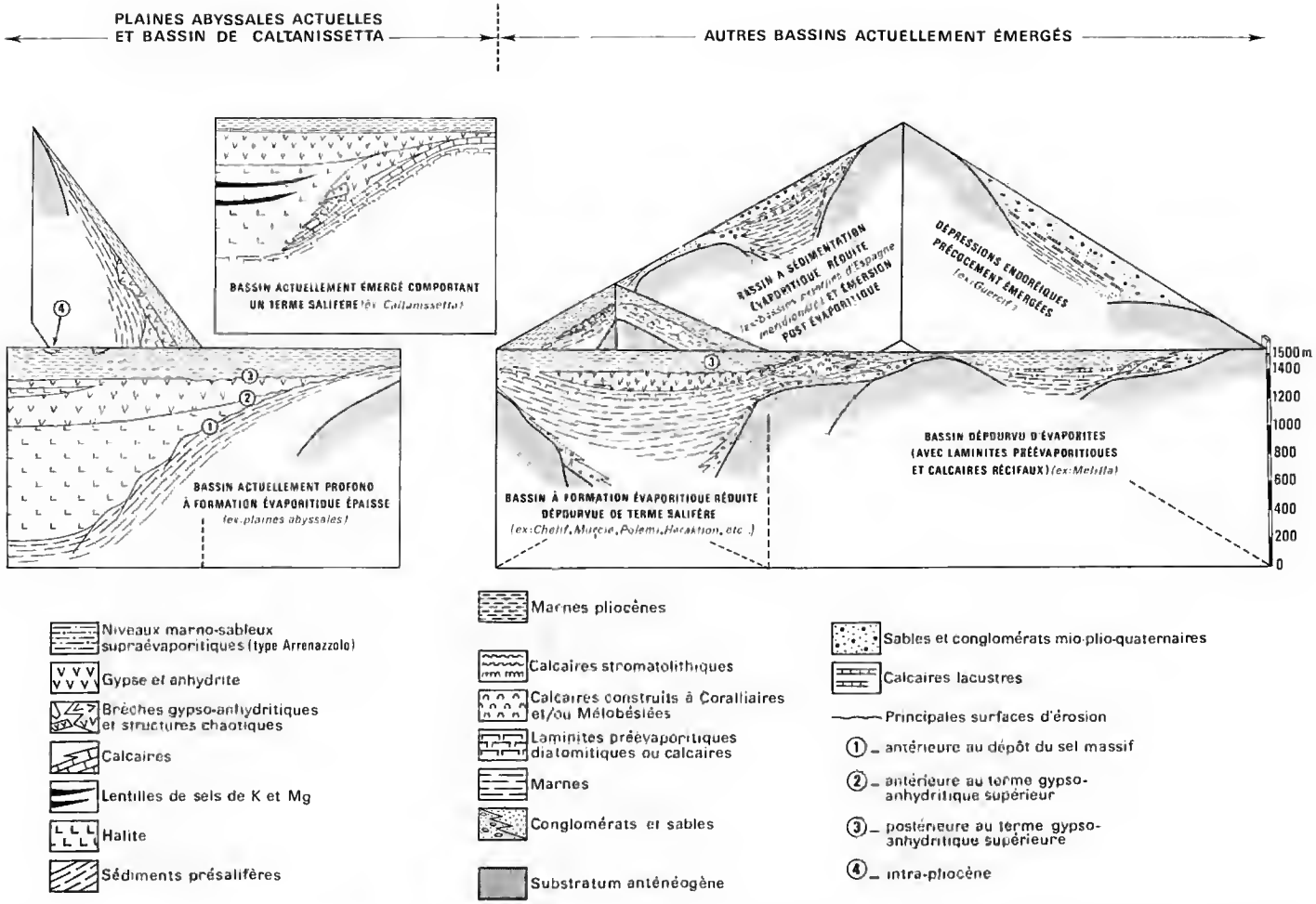


FIG. 8. — Illustration schématique de la zonalité des différents types de bassins évaporitiques en fonction de leur position dans le domaine méditerranéen à partir des dépressions distales précocement isolées jusqu'aux bassins centraux à formation évaporitique épaisse ; ce schéma illustre le diachronisme du confinement qui migre en s'intensifiant au cours du temps, des marges vers le centre du bassin.

Schematic illustration of the zonality of different types of evaporitic basins according to their position in the mediterranean paleogeography : early emerged distal endoreic depressions, marginal basins without evaporites but with laminites and reefs, distal basins with reduced evaporitic units, proximal evaporitic basins without salt and central part with thick halitic body and complete evaporitic sequence. This figure also illustrates the diachronism of the evaporitic conditions that begin in the distal part of the domain and are progressively migrating with increasing intensity from edges to center.

émergés, ainsi que dans la partie inférieure de la formation salifère de Caltanissetta (équivalent des formations des plaines abyssales), n'indiquent pas de valeurs très importantes, mais seulement de l'ordre de quelques centaines de mètres (observations personnelles ; G. Bizon *et al.*, 1979 ; K. O. Heimann, 1977 ; J. E. Meulenkamp et W. J. Zachariasse, 1973). Si l'on considère que certains des sondages profonds n'ont rencontré en fait que des formations strictement équivalentes à celles des bassins émergés voisins, on est en droit de considérer que la différence altimétrique qui les sépare de nos jours résulte en grande partie de déformations postérieures ; c'est notamment le cas du site 372 implanté par 2 699 m d'eau et des bassins d'Espagne méridionale, du site 375 et du bassin de Polemi à Chypre. Si une telle dénivelée avait existé au Messinien, nul doute que ces dépressions auraient piégé des accumulations nettement plus importantes d'évaporites. La Méditerranée finimiocène était donc caractérisée par une paléogéographie diversifiée dans laquelle les dépressions centrales les plus profondes ne devaient pas excéder, en Méditerranée occidentale du moins, le millier de mètres. Notons que cette évaluation n'est pas tellement éloignée de celle obtenue par M. Genesseaux et D. Lefebvre (1980) ou J. P. Rehault (1981) qui envisagent 1 200 à 1 400 m ; R. Wright (1978), à partir de la microfaune benthique, propose une profondeur ne dépassant guère 1 500 m, ce qui représente une réduction importante par rapport aux propositions initiales des partisans du « bassin » profond. Il demeure néanmoins évident que, compte tenu de l'insuffisance des informations, aucune estimation sérieuse ne peut être proposée pour les plaines abyssales de Méditerranée orientale.

Les manifestations d'une tectonique active permanente au cours de la période considérée, ajoutées à celles décrites dans la littérature depuis de nombreuses années, sont abondantes ; je ne mentionnerai que quelques exemples : relèvement des parties marginales et du domaine rhodano-languedocien, déformations des sédiments miocènes dans le bassin du Chélif (G. Busson, 1959 : observations personnelles, etc.), indices constants de réorganisation paléogéographique (Espagne, Maroc, Algérie, Chypre, etc.) ; le fait que le Pliocène demeure généralement en retrait des limites d'extension de la mer miocène infraévaporitique en constitue la meilleure illustration, comme d'ailleurs la surrection d'évaporites à 900 m d'altitude dans le bassin de Caltanissetta (Sicile) considéré comme un équivalent des parties profondes. L. Montadert *et al.* (1978) soulignent l'importance et le caractère continu de la tectonique et admettent en conclusion que la subsidence messinienne — pliocène — pleistocène a pu être en Méditerranée orientale de 1 500 à 2 500 m à la limite du « shelf ». Il s'agit, en fait, d'une restructuration permanente qui conduit progressivement à l'acquisition des caractères actuels par enfoncement des parties centrales et relèvement constant des parties marginales.

Le rôle de la tectonique se manifeste également au niveau du piégeage des masses importantes d'évaporites, en assurant la pérennité du dispositif morphologique comme dans le bassin de Caltanissetta (Sicile), ou au niveau des plaines abyssales où les mêmes zones subsidentes ont continué à fonctionner jusque dans le terme supérieur ; à l'inverse, la sédimentation évaporitique a été stoppée après le dépôt du terme inférieur dans un certain nombre de bassins.

D. — Les différences entre les parties occidentale et orientale du domaine

Les bassins orientaux se différencient nettement des bassins occidentaux par : 1) l'épaisseur des dépôts évaporitiques [jusqu'à 3 500 m selon L. Montadert *et al.* (1978) dans le bassin d'Herodotus (en admettant, ce qui n'est pas encore démontré, que la totalité de ces évaporites appartient bien au Miocène terminal)] ; 2) la composition minérale des masses évaporitiques (au niveau des parties profondes), à dominante halitique probablement dans de nombreux cas jusqu'au niveau du terme supérieur ; 3) les caractéristiques écologiques du contenu organique : les laminites préévaporitiques ne comportent pas de diatomites caractéristiques de phénomènes d'« upwelling » (type I) et les populations de diatomées semblent se différencier par l'absence des formes froides connues à l'ouest ; le nanoplancton est nettement plus riche (comportant des *Discoaster*) et le foraminifère *Discospirina* devient abondant ; les laminites aragonitiques sont très fréquentes. Les édifices récifaux véritablement messiniens sont rares et peu développés, les récifs à populations diversifiées pourraient être encore d'âge Tortonien (Héraklion, etc.).

La persistance évidente du milieu marin pendant toute la phase évaporitique dans la partie orientale (voir ci-dessus) est en désaccord avec l'hypothèse formulée par K. J. Hsü *et al.* (1973), P. Sonnenfeld (1974) et G. Gvirtzmann et B. Buchbinder (1976), d'une évolution vers des conditions endoréiques (lacs alcalins, environnements de type mer Morte, etc.).

Cette permanence d'un milieu marin plus ou moins franc (voir dessalure du terme supérieur) me conduit à interpréter la différenciation ainsi observée par des caractères d'ordre morphologique, géographique et climatique. Sous réserve d'une fermeture effective de la liaison avec l'océan Indo-Pacifique par la Mésopotamie, il apparaît que l'alimentation de la Méditerranée orientale est tributaire d'un transit des eaux océaniques par la partie occidentale, imposant ainsi une préconcentration des saumures ; à cela s'ajoutent : 1) la présence évidente de seuils ou de barrières topographiques entre les deux domaines qui ont perturbé le régime des circulations et ont entraîné un confinement plus poussé et précoce ; 2) une différenciation bathymétrique plus accentuée et (ou) une subsidence différentielle active qui auraient pu assurer un piège plus efficace ; 3) une position latitudinale plus méridionale, qui a induit un régime climatique globalement plus aride et par conséquent une capacité de concentration plus intense et plus rapide des saumures. Dans de telles conditions, on peut admettre, à titre d'hypothèse, que c'est en Méditerranée orientale, où se localisent déjà les plus grandes masses de halite, que devraient se trouver les accumulations les plus importantes de sels potassiques. La Sicile se trouve par ses caractères à l'articulation entre les deux domaines.

E. — Le contrôle de la crise évaporitique : rôle de la tectonique et des mécanismes eustatiques et importance des facteurs climatiques

L'explication du contrôle de cet événement évaporitique fait l'objet depuis sa découverte d'hypothèses contradictoires : certaines font jouer aux mécanismes tectoniques et

morphologiques le rôle prédominant dans un contexte climatique relativement stable ; la succession de phases de remplissage et de dessèchement du bassin exige alors des mécanismes d'ouverture et de fermeture alternatifs et répétés des communications avec l'océan par la région de Gibraltar au sens large (une cinquantaine seraient nécessaires pour expliquer l'épaisseur du sel en Méditerranée orientale). Cette hypothèse a paru peu plausible à certains auteurs qui ont recherché, toujours à climat stable, le moteur de l'isolement dans les fluctuations d'origine glacio-eustatique du niveau océanique global ; remarquons que, dans ces conditions, il est difficile de concevoir la stabilité des conditions climatiques.

1 — *Le rôle de la tectonique : le contrôle morphologique et structural*

Il est un fait acquis et indiscutable que le confinement d'une masse d'eau aussi importante que celle de la Méditerranée exige un sévère isolement morphologique, c'est-à-dire une restriction du volume des apports d'eau océanique devenant insuffisants pour compenser le déficit du bilan en eau du bassin (différences entre pertes par évaporation et gains par les précipitations ou le ruissellement). Cet isolement morphologique peut être effectivement rapporté à la fermeture tectonique progressive des zones de communications, actives jusqu'à cette période, par les régions sud-rifaine ou nord-bétique. Il est alors possible que les détroits prémessiniens aient été modifiés dans leur tracé, évoluant vers un chevelu de couloirs préfigurant l'actuel Gibraltar, couloirs étroits et peu profonds, aux conditions de circulation particulièrement instables dont le tracé a été en partie effacé par le jeu de la tectonique et de l'érosion postmessiniennes. C'est évidemment à ces facteurs liés à la phase de tectonique tangentielle qui affecte le domaine bético-rifain jusqu'au Tortonien supérieur, qu'il faut attribuer l'isolement et le confinement du domaine ; ceci étant admis, il devient beaucoup plus difficile de concevoir les phases d'ouverture et de fermeture successives et souvent répétées de ces divers détroits. Quoi qu'il en soit, l'isolement morphologique ne peut suffire à créer les conditions évaporitiques sans l'intervention des mécanismes climatiques adéquats qui, seuls, peuvent déterminer l'évolution favorable ou non du bilan en eau du bassin ; tout au plus, sans une aridité poussée, le milieu peut-il évoluer vers une stratification du corps d'eau comme c'est actuellement le cas en mer Noire.

2 — *Le rôle des facteurs glacio-eustatiques*

Il semble bien démontré que la fin du Miocène correspond à une période d'accroissement important de la calotte glaciaire antarctique qui a pu atteindre un volume global supérieur à celui de la période actuelle ; il est non moins indéniable qu'un phénomène de cette importance, d'ailleurs complété par l'extension des glaciers arctiques (G. H. Denton et R. L. Armstrong, 1969), a provoqué une ou plusieurs phases d'abaissement eustatique du niveau océanique contribuant alors, inévitablement, à isoler ou à aggraver l'isolement du bassin méditerranéen. A l'opposé de cette hypothèse, certains auteurs (W. B. F. Ryan, 1973 ; M. B. Cita, 1979) considèrent que c'est la crise évaporitique messinienne de Méditerranée qui a déclenché le processus glacio-eustatique.

On peut admettre que les mécanismes eustatiques se sont ajoutés aux facteurs d'ordre tectonique pour provoquer, puis accentuer, l'isolement du bassin, selon des proportions respectives qui sont, bien évidemment, impossibles à chiffrer ; des pulsations du niveau

océanique ont même pu influencer le déroulement de la crise évaporitique. Mais il devient dès lors évident que de tels phénomènes n'ont pu se dérouler sans être associés directement à des modifications climatiques importantes.

3 — *Le rôle primordial des facteurs climatiques*

Nous avons vu que, si le sel massif inférieur (voir ci-dessus) semble bien résulter de la concentration d'une tranche d'eau originellement marine, une dégradation des conditions marines se manifeste et s'intensifie vers le sommet du terme gypso-anhydritique supérieur (microfaune et faunes d'affinités saumâtres, flore, etc.) et se marque même dans les caractères géochimiques de ses intercalations salifères (voir *supra*). A l'exception de la Méditerranée orientale où les corps salifères sont très développés, les conditions de concentration suffisantes pour précipiter la halite n'ont été atteintes qu'épisodiquement au cours du dépôt de ce terme supérieur contrairement au terme inférieur caractérisé par l'importance des masses de halite. Ceci, paradoxalement, ne semble pas dû à une alimentation supérieure en eau marine, mais au contraire à l'intensification très nette des phénomènes de dessalure qui se marquent dans les intercalations non évaporitiques (voir précédemment). Il est évident que des modifications du volume des transferts d'eau océanique rendent compte de certaines phases de rétablissement des conditions marines, mais l'ensemble des caractères précédemment mentionnés ne peut découler de ce seul mécanisme. Cet accroissement de la quantité d'eau douce livrée dans le bassin, corrélable d'ailleurs avec une reprise sensible des apports détritiques, semble ne pouvoir s'expliquer que *par une modification climatique caractérisée par une intensification globale du régime des précipitations affectant un domaine dont l'isolement tend en outre à s'accentuer* ; cette évolution aboutira logiquement à la généralisation des conditions laguno-lacustres (« lac-mer » des auteurs) qui représente la phase paroxysmale d'une évolution observée localement au niveau des intercalations évaporitiques supérieures ; j'ai d'ailleurs proposé de considérer qu'il n'était pas partout synchrone et que, dans certains cas, il pouvait être l'équivalent de tout ou partie du terme évaporitique supérieur d'autres bassins (exemple des bassins de Polemi et Pissouri à Chypre). Rien n'indique ici un phénomène brutal tel que l'irruption des eaux paratéthysiennes dans la Méditerranée asséchée, comme l'ont envisagé certains auteurs (K. J. Hsü, 1978) pour expliquer le développement endémique de faunes provenant de migrants orientaux (J. Archambault-Guezou, 1976) ; un tel mécanisme n'expliquerait ni la reprise quasi générale des apports terrigènes, ni le caractère progressif d'une évolution depuis des conditions marines franches jusqu'à des conditions laguno-lacustres à lacustres, et cela sans exclure la permanence de discrets indices de milieux marins.

De tels phénomènes ne peuvent donc s'expliquer que par une modification progressive du cadre climatique, marquée par une intensification du régime des précipitations, entrecoupée de phases d'aridité permettant le dépôt des intercalations évaporitiques du terme supérieur, le terme inférieur représentant peut-être une phase d'aridité plus poussée. Dans des conditions de bilan hydraulique très précaires résultant d'un isolement morphologique rigoureux et probablement croissant vers le haut de la formation, de faibles modifications climatiques agissant directement sur les paramètres précipitation/évaporation peuvent entraîner des inversions de tendances observées au niveau de la composition des milieux résiduels : alternance de phases de dessalure et de sursalure et établissement des condi-

tions marines peut-être favorisées par des variations du volume des entrées d'eaux océaniques.

Il semble bien, d'ailleurs, que le Miocène terminal soit caractérisé par une modification climatique nette par rapport à un régime plus chaud et humide caractéristique du Miocène moyen, période durant laquelle les populations extrêmement diversifiées de Coralliaires constructeurs édifiaient des récifs jusqu'à la latitude de la Touraine (J. P. Chevallier, 1961). Une dégradation sensible des conditions climatiques semble d'abord se traduire par la tendance à la monospécificité des Coralliaires, dès le Tortonien en Méditerranée occidentale surtout, et par les caractères palynologiques qui indiquent un « refroidissement » relatif (L. Benda, 1973) correspondant en fait à une évolution vers des conditions plus proches de celles de la Méditerranée actuelle qui semblent prédominer au niveau de certaines intercalations du terme supérieur (K. O. Heimann, 1978).

Dans cette optique, il apparaît bien que la fin de la crise de salinité en Méditerranée est en relation avec un processus climatique qui, progressivement, va rendre de plus en plus rares et inefficaces les phases d'aridité susceptibles de permettre le dépôt d'évaporites, sauf au niveau de la Méditerranée orientale (voir ci-dessus).

4 — *L'intégration dans le contexte climatique général*

Une revue rapide des grands événements qui caractérisent cette fin du Miocène suffit à révéler l'importance d'une profonde réorganisation des circulations atmosphériques et océaniques : phénomènes glaciaires précédemment mentionnés, nette tendance au resserrement des zones climatiques qui tend à instaurer progressivement une zonation latitudinale évoquant déjà celle que l'on connaît à l'heure actuelle, premiers indices de désertification au Sahara et en Australie. Dans le domaine océanique, outre les variations dans l'extension des récifs à Madréporaires précédemment citées, il faut noter la généralisation des formations riches en diatomites, sur toute la périphérie du Pacifique (M. N. Bramlette, 1946 ; J. C. Ingle, 1980) et l'établissement progressif d'une ceinture équatoriale à haute productivité qui montre l'installation d'un système de circulations océaniques voisines de l'actuel (L. Leclaire, 1978, 1979).

Ces quelques exemples permettent de constater que cette période correspond bien à une profonde modification du cadre climatique qui voit l'établissement progressif d'un régime qui préfigure celui de la période actuelle ; le contraste latitudinal fortement marqué qui s'instaure à cette période peut rendre compte aisément des alternances climatiques liées à des fluctuations des fronts latitudinaux dont on connaît la remarquable aptitude à la mobilité.

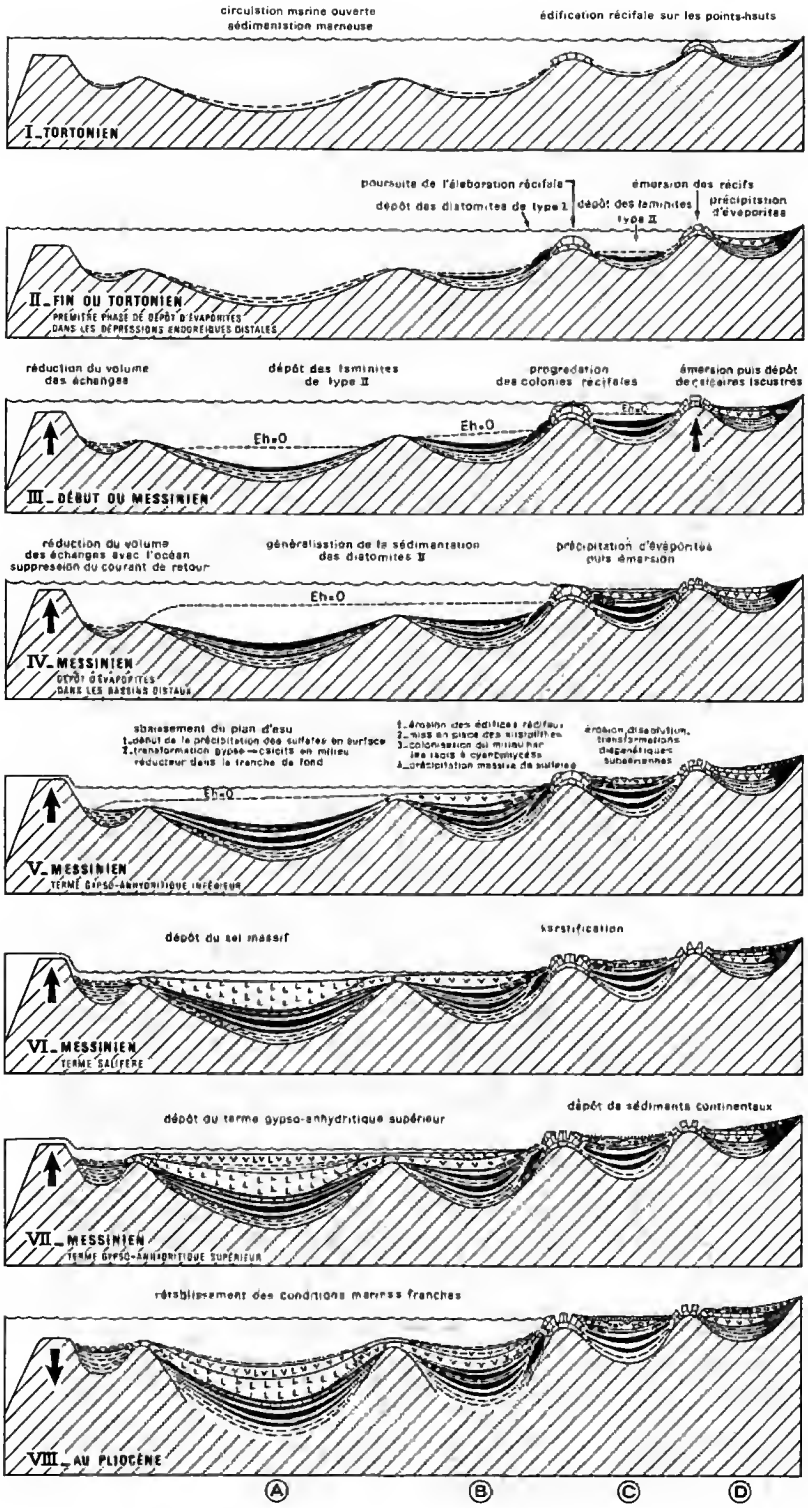
III. CONCLUSIONS

Le travail ainsi réalisé conduit à proposer un schéma interprétatif général de la crise évaporitique messinienne de Méditerranée, fondé principalement sur des faits d'observation ; en raison des nombreuses lacunes qui entachent encore la connaissance de cet événement (absence de données concernant les sédiments salifères et infrasalifères des plaines

abyssales actuelles), il est évident qu'il devra subir des aménagements ou des modifications au fur et à mesure que progressera la connaissance. Il apporte néanmoins dans l'état actuel des recherches un modèle cohérent fondé sur la proposition d'un certain nombre de concepts originaux. Afin d'éviter au lecteur un exposé narratif long et fastidieux des différentes étapes du confinement du bassin qui constitue l'aboutissement logique des recherches, il m'a paru préférable d'y substituer le schéma de la figure 9 qui les illustre en les résumant. De plus, il met en relief certains des enseignements fondamentaux de cette étude : 1) la progressivité du confinement dans chacun des bassins, mais son diachronisme à l'échelle du domaine, marqué par la migration de la sédimentation évaporitique depuis les dépressions distales à la fin du Tortonien jusqu'au centre du bassin ; 2) les relations calcaires construits à Madréporaires ou à Mélobésiées/laminites/évaporites ainsi que l'agencement des corps sédimentaires dans chaque bassin caractérisé par les notions de diachronisme, d'emboîtement successif des termes de plus en plus solubles et par conséquent de faux passage latéral décalé dans le temps ; 3) la coexistence d'une alimentation continue en eaux marines, de la permanence d'une tranche d'eau résiduelle, d'un abaissement périodique du niveau aquatique dans chacun des bassins conduisant à une rétraction progressive de l'aire de sédimentation et à une émersion des parties marginales ; 4) la mise en place progressive du dispositif morphologique actuel à partir d'une paléogéographie messinienne qui ne fait que préfigurer, avec des valeurs de profondeur inférieures, celle de l'époque actuelle ; etc.

La sédimentation évaporitique paraît en fait réglée par le jeu de trois types au moins de mécanismes : tectoniques, eustatiques et climatiques ; les premiers préparent le cadre de la sédimentation messinienne en créant et en entretenant le piège morphologique d'une part, et en provoquant l'isolement du bassin par une réduction du volume des échanges avec l'océan d'autre part ; l'effet des facteurs tectoniques a pu être aggravé par un phénomène d'abaissement glacio-eustatique du niveau océanique. L'action même conjointe de ces deux types de paramètres ne fait que prédisposer le bassin aux conditions évaporitiques qui ne seront obtenues que si une certaine aridité climatique caractérise le domaine considéré. Les différentes observations réalisées dans le bassin, ainsi que la prise en compte des grands événements qui caractérisent les circulations océanique et atmosphérique à cette époque, permettent de mettre en évidence le rôle des modifications climatiques comme paramètre principal de la phase évaporitique ; la succession des corps évaporitiques a pu être mise en relation avec une modification globale du régime climatique local qui s'insère dans un processus général d'établissement d'une zonation climatique latitudinale annonçant celle de la période actuelle : évolution générale vers une phase d'aridification (terme salifère inférieur) suivie d'une évolution vers une intensification du régime des précipitations au niveau du terme supérieur, entrecoupée de phases d'aridité et aboutissant logiquement à la généralisation des conditions laguno-lacustres terminales.

La genèse des évaporites messiniennes, comme celle d'autres grands épisodes évaporitiques du passé, résulte donc de la conjonction dans le temps d'un grand nombre de facteurs, les uns à signification générale (tectonique, eustatisme, climat, etc.) qui gouvernent le phénomène évaporitique, les autres à signification régionale ou locale (morphologie, tectonique locale, variations climatiques locales, position des bassins considérés dans l'ensemble du domaine et par rapport aux zones d'alimentation, hydrodynamisme, drainage, etc.) qui imposent l'expression sédimentologique de l'événement.


circulation marine ouverte
sédimentation marneuse
édification récifale sur les points-hauts
I_TORTONIEN
poursuite de l'élaboration récifale
émersion des récifs
dépôt des diatomites de type I
dépôt des laminites type II
précipitation d'évaporites
II_FIN DU TORTONIEN
PREMIÈRE PHASE DE DÉPÔT D'ÉVAPORITES DANS LES DÉPRESSIONS ENDOREIQUES DISTALES
réduction du volume des échanges
dépôt des laminites de type II
progradation des colonies récifales
émersion puis dépôt de sédiments lacustres
Eh=0
Eh=0
Eh=0
III_DÉBUT DU MESSINIEN
réduction du volume des échanges avec l'océan
suppression du courant de retour
généralisation de la sédimentation des diatomites II
précipitation d'évaporites puis émersion
Eh=0
IV_MESSINIEN
DÉPÔT D'ÉVAPORITES DANS LES BASSINS DISTAUX
abaissement du plan d'eau
1_début de la précipitation des sulfates en surface
2_transformation gypse → calcite en milieu réducteur dans la tranche de fond
1_érosion des édifices récifaux
2_mise en place des silicifiées
3_colonisation du milieu par les tapis à cyanophycées
4_précipitation massive de sulfates
érosion, dissolution, transformations dégénératives subaériennes
Eh=0
V_MESSINIEN
TERME GYPSO-ANHYDRITIQUE INFÉRIEUR
dépôt du sel massif
karstification
VI_MESSINIEN
TERME SALIFÈRE
dépôt du terme gypso-anhydritique supérieur
dépôt de sédiments continentaux
VII_MESSINIEN
TERME GYPSO-ANHYDRITIQUE SUPÉRIEUR
rétablissement des conditions marines franches
VIII_AU PLIOCÈNE
A
B
C
D

Remerciements

L'auteur exprime sa gratitude à M. G. Busson pour la critique très constructive du manuscrit et pour ses suggestions tout au long de la réalisation de cette étude, ainsi qu'à M. le Pr. L. Leclaire pour les discussions nombreuses et fructueuses au sujet de ce travail ; il remercie Mme A. Maurs pour la qualité de la frappe du manuscrit.

RÉFÉRENCES CITÉES

Aleria, 1980. — Le canal de Corse et les bassins nord-tyrrhéniens au Miocène supérieur et terminal (Messinien) ; leur évolution plio-quaternaire. *In* : F. Orszag-Sperber et J. M. Rouchy éd., Les aspects géodynamiques du passage Miocène-Pliocène en Méditerranée. *Géol. Méd.*, **7** : 5-12.

Almagor, G., 1980. — Halokinetic deep-seated slumping on the Mediterranean slope of Northern Sinaï and Southern Israël. *Marine Geotechnology*, **4** : 83-104.

Benda, L., 1973. — Late Miocene sporomorph assemblage from the Mediterranean and their possible paleoclimatological implications. *In* : C. W. Drooger éd., Messinian events in the Mediterranean. *Kon. ned. Akad. Wetensch.* : 256-259.

Benson, R. H., 1973. — The biodynamic effects of the Messinian salinity crisis. A micropaleontological examination of the events of the Late Miocene in the Mediterranean. *Pal., Pal., Pal.*, **20** : 170 p.

Biju-Duval, B., J. Letouzey, L. Montadert, P. Courrier, J. F. Mugniot et J. Sancho, 1974. — Geology of the Mediterranean basins. *In* : C. A. Burk et C. L. Drake éd., The geology of continental margins. Springer, New-York : 695-721.

Biju-Duval, B., et L. Montadert, 1976. — Histoire structurale des bassins méditerranéens. XXVe Congr. Ass. Plén. de la C.I.E.S.M., Split, 1976, Technip éd. : 445 p.

Bizon, G., J. J. Bizon et C. Muller, 1978. — Données tirées de l'étude des foraminifères et des nannofossiles du Messinien en affleurement et dans le domaine marin. *Bull. Mus. natn. Hist. nat., Paris*, 3e sér., no 518, Sci. de la Terre 70 : 123-135.

Bizon, G., C. Muller et C. Vergnaud-Grazzini, 1979. — Paleoenvironmental conditions during the deposition of Late Miocene diatomaceous sediments in Morocco and Cyprus. 7th Intern. Congr. on Medit. Neogene (Athènes, 1979), *Annls géol. Pays hell.*, (h. s.), **1** : 113-128.

Fig. 9. — Évolution paléogéographique schématisée du domaine méditerranéen au cours du Miocène terminal et du Pliocène inférieur. Les différents types de bassins représentés correspondent aux quatre grands groupes décrits dans ce travail : (A) les bassins possédant un terme salifère développé ; (B) les bassins périphériques à sédimentation évaporitique d'épaisseur réduite ; (C) les bassins précocement émergés ; (D) les dépressions endoréiques situées en position distale.

Schematic paleogeographic evolution of the Mediterranean area during the late Miocene and lower Pliocene. The different kinds of basins correspond to the four major groups distinguished in the text : (A) central depression with thick salt unit ; (B) peripheric basins without salt ; (C) distal basins with reduced gypso-anhydritic formation ; (D) early emerged endoreic depressions. It is interesting to note : 1) the progressivity of the increasing restricted conditions in each basin and the diachronism of the evaporitic processes at the Mediterranean scale ; 2) geometric and genetic relations between diatomites or laminites, reefs and evaporites and the distinction of two types of prevaporitic laminated sediments ; 3) coexistence of subcontinuous oceanic water supply and of a drop of the aquatic level leading to the contraction of the sedimentary area ; 4) permanent structural evolution progressively bringing to the present morphology.

Burollet, P. F., et R. S. Byramjee, 1974. — Évolution géodynamique néogène de la Méditerranée occidentale. *C. r. hebd. Séanc. Acad. Sci., Paris*, **278**, D : 1321-1324.

Busson, G., 1959. — Carte géologique de l'Algérie au 1/50.000e, n° 81, Warnier, 2e édition. *Publs Serv. Carte géol. Algér.*, avec notice explicative : 16 p.

— 1978. — L'unité des faciès confinés en milieu de plate-forme carbonatée. Livre jubilaire Jacques Flandrin. *Doc. Lab. Géol. Fac. Sci. Lyon*, h. s., **4** : 87-112.

— 1979. — « Le géant salifère » messinien du domaine méditerranéen : interprétation génétique et implications paléogéographiques. 7th Intern. Congr. on Medit. Neogene, Athènes, 1979. *Annls géol. Pays hell.*, h. s., **1** : 227-238.

Catalano, R., G. Ruggieri et R. Sprovieri éd., 1978. — Messinian Evaporites in the Mediterranean. Erice Seminar, 1975. *Memorie Soc. geol. ital.*, **40** (93) : 562 p.

Cita, M. B., 1973. — Mediterranean evaporites : paleontological arguments for a deep basin desiccation model. *In* : C. W. Drooger ed., Messinian events in the Mediterranean, *Kon. ned. Akad. Wetensch.* : 206-228.

— 1974. — Stratigraphie du Néogène dans les fonds marins de la Méditerranée. 5e Congr. Néogène Méd., Lyon 1971. *Mém. B.R.G.M.*, **78** (2) : 387-398.

— 1975. — The Mio/Pliocene boundary : history and definition. *In* : T. Saito et L. H. Burckle ed., Late Neogene Epoch boundaries. New York : 130 p.

— 1979. — Quand la Méditerranée était asséchée. *La Recherche*, **107** : 26-36.

Cita, M. B., et W. B. F. Ryan ed., 1978. — Messinian erosional surfaces in the Mediterranean. *Marine Geology*, **27** : 366 p.

Cita, M. B., et R. Wright ed., 1979. — Geodynamic and biodynamic effects of the Messinian salinity crisis in the Mediterranean. *Pal., Pal., Pal.*, **29** : 222 p.

Cita, M. B., R. C. Wright, W. B. F. Ryan et A. Longinelli, 1978. — Messinian paleoenvironments. *In* : K. J. Hsü, L. Montadert *et al.*, Rep. Deep Sea Drill. Proj. Washington (U.S. Government Printing Office), **42** (part I) : 1003-1035.

Clari, P., et G. Ghibaudo, 1979. — Multiple slump scars in the Tortonian type area (Piemont basin, Northwestern Italy). *Sedimentology*, **26** : 719-730.

Denton, G. H., et R. L. Armstrong, 1969. — Miocene-Pliocene glaciations in southern Alaska. *Am. J. Sci.*, **267** : 1121-1142.

Drooger, C. W., 1973*a*. — Messinian Events in the Mediterranean. *Kon. ned. Akad. Wetensch.* 272 p.

— 1973*b*. — The Messinian Events in the Mediterranean. A review. *In* : C. W. Drooger éd., Messinian events in the Mediterranean. *Kon. ned. Akad. Wetensch.* : 263-272.

Fabricius, F. H., et W. Hieke, 1976. — Néogene to quaternary development of the Ionian basin (Mediterranean) : considerations based on a « dynamic shallow basin » of the Messinian salinity event. *In* : Intern. Symposium of the structural history of the Mediterranean Basins. B. Biju-Duval et L. Montadert éd., Split (Youg.), éd. Technip, Paris : 391-400.

Finetti, I., et C. Morelli, 1972. — Wide-scale digital seismic exploration. *Boll. Geofis. teor. appl.*, **14** : 291-336.

Genesseaux, M., et D. Lefebvre, 1980. — Le Golfe du Lion et le Paléo-Rhône Messinien. *In* : F. Orszag-Sperber et J. M. Rouchy éd., Les aspects géodynamiques du passage Miocène-Pliocène en Méditerranée. *Géol. Méd.*, **7** : 71-80.

Gvirtzmann, G., et B. Buchbinder, 1976. — The desiccation events in the eastern Mediterranean during Messinian times as compared with other Miocene desiccation events in basins around the Mediterranean. *In* : Intern. Symposium of the structural history of the Mediterranean Basins. B. Biju-Duval et L. Montadert éd., Split (Youg.), éd. Technip, Paris : 411-420.

Heimann, K. O., 1977. — Die Fazies des Messins und unterstein Pliozäns auf den Ionischen Inseln (Zakynthos, Kephallinia, Korfu/Griechenland) und auf Sizilien. Thèse, Munich : 158 p.

Hsü, K. J., 1973. — The desiccated deep basin model for the Messinian events. *In* : C. W. Drooger ed., Messinian events in the Mediterranean. *Kon. ned. Akad. Wetensch.* : 60-67.

Hsü, K. J., M. B. Cita et W. B. F. Ryan, 1973. — The origin of the Mediterranean evaporites. *In* : W. B. F. Ryan *et al.*, ed., Rep. Deep Sea Drill. Proj. Washington (U.S. Government Printing Office), **13** : 1203-1231.

Hsü, K. J., L. Montadert, D. Bernoulli, G. Bizon, M. B. Cita, A. Erickson, F. Fabricius, R. E. Garrison, R. B. Kidd, F. Mélières, C. Muller et R. Wright, 1978. — Rep. Deep Sea Drill. Proj. Washington (U.S. Government Printing Office), **42**, I & II : 2493 p.

Ingle, J. C., 1980. — Depositional history and significance of Neogene diatomites from the Pacific rim. 26e Congr. Géol. Intern., Paris, résumé, p. 487.

Kuehn, R., et K. J. Hsü, 1978. — Chemistry of halite and potash salt cores, D.S.D.P., sites 374 and 376, leg 42 A, Mediterranean sea. *In* : K. J. Hsü, L. Montadert *et al.* ed., Rep. Deep Sea Drill. Proj. Washington (U.S. Government Printing Office), **42** (part I) : 613-620.

Leclaire, L., 1978. — Les dépôts siliceux néogènes des océans actuels : produits de l'évolution climatique terrestre. *Bull. Soc. géol. Fr.*, 7e sér., **20** : 559-568.

— 1979. — L'océan Indien : une introduction à sa paléooceanographie. *Cah. Indo-Pacifique*, **1** : 249-296.

Mauffret, A., 1976. — Étude géodynamique de la marge des Iles Baléares. Thèse Doct. ès-Sciences, Univ. P. et M. Curie, Paris : 137 p.

Maurin, A. F., C. L. Monty et M. C. Bernet-Rollande, 1980. — The Miocene *Porites* reef of Santa Pola (Spain). 26e Congr. Géol. Intern. Paris, II, résumé, p. 515.

Meulenkamp, J. E., et W. J. Zachariasse, 1973. — Stratigraphic and structural framework of the Messinian deposits on Crete. *In* : C. W. Drooger ed., Messinian Events in the Mediterranean. *Kon. ned. Akad. Wetensch.* : 202-205.

Montadert, L., J. Sancho, J. P. Fail, J. Debyser et E. Winnock, 1971. — De l'âge tertiaire de la série salifère responsable des structures diapiriques en Méditerranée occidentale (Nord-Est des Baléares). *C. r. hebd. Séanc. Acad. Sci., Paris*, **271**, D : 812-815.

Montadert, L., J. Letouzey et A. Mauffret, 1978. — Messinian events : seismic evidence. *In* : K. J. Hsü, L. Montadert *et al.* ed., Rep. Deep. Sea Drill. Proj. Washington (U.S. Government Printing Office), **42**, (part I) : 1037-1050.

Montenat, C., 1973. — Les formations néogènes et quaternaires du Levant espagnol. Thèse Doct. État, Univ. Paris-Sud : 1170 p.

Neev, D., 1979. — Deep water gypsum deposits as indicated by the Neogene Geological history of the central coastal plain of Israël. *Sedimentary Geology*, **23** : 127-136.

Nesteroff, W. D., 1973. — Petrography and mineralogy of sapropels. *In* : W. B. F. Ryan, K. J. Hsü *et al.* ed., Rep. Deep Sea Drill. Proj. Washington (U.S. Government Printing Office), **13** : 713-720.

Orszag-Sperber, F., et J. M. Rouchy éd., 1980. — Les aspects géodynamiques du passage Miocène-Pliocène en Méditerranée. *Géol. Méd.*, **7** : 154 p.

Pierre, C., 1974. — Contribution à l'étude sédimentologique et isotopique des évaporites messiniennes de la Méditerranée. Implications géodynamiques. Thèse Doct. 3e cycle, Univ. Paris VI : 273 p.

Pierre, C., et J. C. Fontes, 1978. — Isotope composition of Messinian sediments from the Mediterranean sea as indicators of paleoenvironment and diagegenis. *In* : K. J. Hsü, L. Montadert *et al.* ed., Rep. Deep Sea Drill. Proj. Washington (U.S. Government Printing Office), **42** (part I) : 635-650.

Pierre, C., et J. M. Rouchy, 1981. — Intérêt indirect de la géochimie isotopique pour la mise en évidence d'halocinèses fossiles : exemple du Miocène terminal du bassin de Grenade (Espagne méridionale). Réunion A.S.F., halocinèse et sédimentation, résumé : 3 p.

RCP 459, 1978-1979. — Le Messinien. Les réunions de la RCP 459 : « Genèse et nature des faciès confinés ». Le Messinien, Paris, 16-17 mai 1977. *Bull. Mus. natn. Hist. nat.*, 3e sér., Sci. de la Terre 70 : 123-155 ; 4e sér., C, Sci. de la Terre, **1** (1) : 3-24.

Rouchy, J. M., 1976*a*. — Mise en évidence de nannoplancton calcaire dans certains types de gypse finement lité (balatino) du Miocène terminal de Sicile et conséquences sur la genèse des évaporites méditerranéennes de cet âge. *C. r. hebd. Séanc. Acad. Sci., Paris*, **282**, D : 13-16.

— 1976*b*. — Sur la genèse des deux principaux types de gypse (finement lité et en chevrons) du Miocène terminal de Sicile et d'Espagne méridionale. *Revue Géogr. phys. Géol. dyn.*, 2e sér., **18** : 347-364.

— 1979. — La sédimentation évaporitique sur les marges messiniennes. 7th Intern. Congr. on Medit. Neogene (Athènes, 1979). *Annls géol. Pays hell.*, h. s., **3** : 1051-1060.

— 1980. — La genèse des évaporites messiniennes de Méditerranée : un bilan. *Bull. Cent. Rech. Pau-S.N.E.A.(P)*, **4** : 511-545.

— 1982. — La genèse des évaporites messiniennes de Méditerranée. Thèse Doct. État, Mus. natn. Hist. nat. et Univ. P. et M. Curie 1981 : 295 p., 72 fig., 18 pl. *Mém. Mus. natn. Hist. nat., Paris*, C, **50** : 267 p., 18 pl. ph.

Rouchy, J. M., et C. Pierre, 1979. — Données sédimentologiques et isotopiques sur les gypses des séries évaporitiques messiniennes d'Espagne méridionale et de Chypre. *Revue Géogr. phys. Géol. dyn.*, **21**, (4) : 267-280.

Rouchy, J. M., et C. L. V. Monty, 1981. — Stromatolites and cryptalgal laminites associated with Messinian gypsum of Cyprus. *In* : C. L. V. Monty ed., Phanerozoic stromatolites. Springer-Verlag, Heidelberg, London, New York : 155-178.

Ryan, W. B. F., K. J. Hsü, M. B. Cita, P. Dumitrica, J. M. Lort, W. Maine, W. D. Nesteroff, G. Pautot, H. Stradner et F. C. Wezel, 1973. — Rep. Deep Sea Drill. Proj. Washington (U.S. Governement Printing Office), **13** : 1447 p.

Selli, R., 1973. — An outline of the Italian Messinian. *In* : C. W. Drooger ed., Messinian Events in the Mediterranean. *Kon. ned. Akad. Wetensch.* : 150-171.

Sonnenfeld, P., 1974. — The upper Miocene evaporite basins in the Mediterranean region. A study in Paleooceanography. *Geol. Rdsch.*, **63** : 1133-1172.

Bull. Mus. natn. Hist. nat., Paris, 4e sér., **4**, 1982,
section C, nos 3-4 : 137-155.

Hydrochimie et circulation des eaux de sources chaudes du massif de la Soufrière, Guadeloupe

par Hélène Pascaline, Sylvie Benauges, Jean-Jacques Jérémie et Bernard Blavoux

Résumé. — L'étude chimique et isotopique des eaux de sources chaudes du massif de la Soufrière de Guadeloupe, reliée aux caractères des formations récentes mises en place par ce volcan, a conduit à la définition de trois types d'eaux chaudes ayant chacun un chimisme et un mode de circulation souterraine propres.

Abstract. — The study of chemical and isotopical characteristics of hot-springs waters from the massif of the Soufrière, Guadeloupe, associated with the geological properties of the recent volcanic formations, indicates that there are three hot waters types, each having its geochemical and hydrodynamical particularities.

H. Pascaline, S. Benauges, et J.-J. Jérémie, *Centre universitaire Antilles-Guyane.*
B. Blavoux, *Centre universitaire d'Avignon.*

Introduction

La Basse-Terre de Guadeloupe se situe sur l'arc volcanique interne, récent, des Petites Antilles. La plupart des îles de cet arc portent au moins un volcan actif se manifestant soit par des éruptions phréato-magmatiques, magmatiques et (ou) phréatiques, soit par des émissions de gaz fumerolliens et l'existence de solfatares.

La Soufrière de Guadeloupe, localisée au sud de l'île, est le plus récent des édifices de la Basse-Terre : les dernières éruptions phréato-magmatiques et magmatiques de ce volcan datent du XVIe siècle de notre ère (Brunet, 1953) et ont permis la mise en place de formations pyroclastiques, suivie de l'installation du dôme actuel (Vincent *et al.*, 1979).

Après cette édification, l'activité du volcan ne s'est manifestée que par des recrudescences, parfois importantes, de l'activité phréatique ; ce fut le cas en 1645, 1680, 1696, 1797-98, 1803, 1837-39, 1879, 1896, 1899, 1903, 1956 (Robson et Tomblin, 1966) et en 1976-77. Ces dernières manifestations sont dues à l'existence en profondeur d'un magma, source de chaleur et de gaz, et d'aquifères capables d'emmagasiner de l'énergie. Les nombreuses sources chaudes, fumerolles et zones à anomalies positives du flux de chaleur, observées en surface (fig. 1) témoignent de ces phénomènes thermiques et hydrodynamiques profonds.

Compte tenu du rôle important joué par les eaux dans l'évolution des phénomènes éruptifs de la Soufrière (Jérémie, 1980*a*), il a paru nécessaire de s'intéresser plus particulièrement aux caractéristiques de ces eaux, tant du point de vue physico-chimique que dynamique.

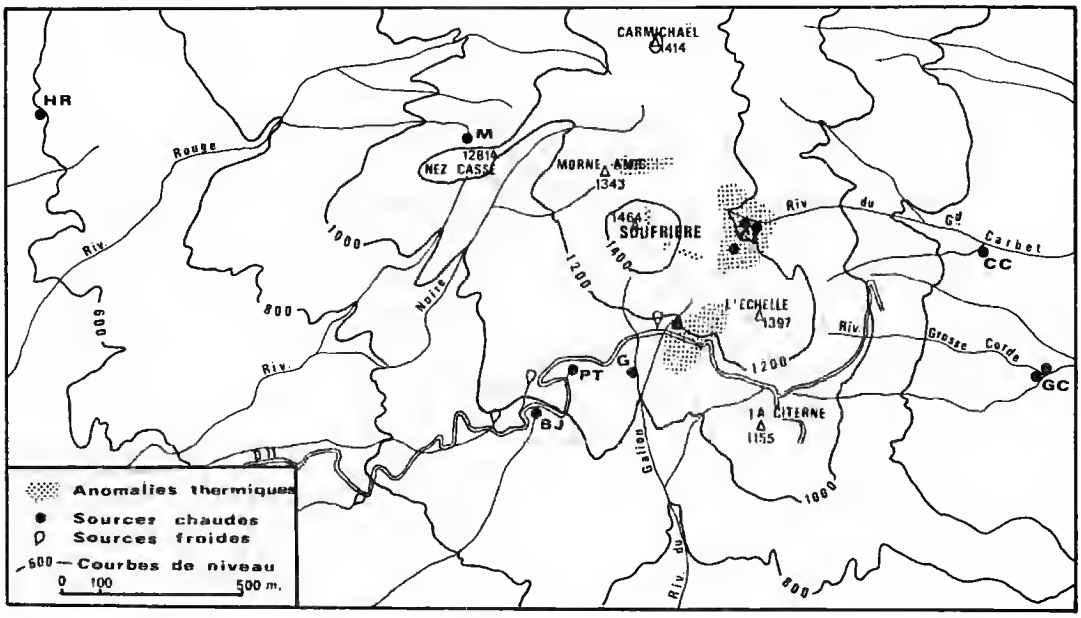


Fig. 1. — Situation des zones fumerolliennes et des sources chaudes du massif de la Soufrière de Guadeloupe.

Un certain nombre de travaux antérieurs apportent des renseignements ponctuels sur les aspects physico-chimiques d'eaux de sources chaudes du pourtour de la Soufrière ; ces études ont également permis d'avoir une idée globale de la composition de ces diverses eaux par rapport au fond hydrochimique régional (Sautet *et al.*, 1951 ; Demians d'Archimbaud et Surcin, 1972 ; Dorel *et al.*, 1972). Les résultats proposés pour les sources chaudes localisées sur le massif de la Soufrière et consignés dans le tableau I laissent apparaître une grande disparité des valeurs, particulièrement pour les sources du Galion, de Matouba et des Bains-Jaunes. Il est possible que ces variations relèvent des conditions des prélèvements et de leur conservation. On peut penser surtout qu'elles sont dues à une évolution de la situation magmatique du volcan qui s'est traduite par une modification des caractéristiques géochimiques des eaux du système. Un suivi régulier pendant une année hydrologique a donc été entrepris afin de déterminer les principaux facteurs intervenant lors de la minéralisation des eaux (Pascaline, 1980 ; Benauges, 1981). A l'aide de la technique des isotopes du milieu, une approche de l'origine et de la dynamique des eaux a également été tentée.

Méthodes utilisées

Les sources retenues pour cette étude se situent dans un rayon d'environ 4 km du dôme ; leur localisation et les caractères géologiques de chacun des griffons sont précisés sur le tableau II ; ce sont les sources chaudes du Galion, du Carbet, du Matouba, des Bains-

Tableau I. — Résultats d'analyses de sources chaudes proches du volcan de la Soufrière (méq/l).

	Galion			Matouba			Bains-Jaunes			Carbet	
	1	2	3	1	2	4	1	2	3	3	3
t° (C)	35 à 41	24	33	58 à 60	59		28,5	27		68	44
pH	5.81	4.3	4.2	5.9	5.95	6.78	5.2	5.15	5.3	2.6	6.8
C (µS/cm)	N.D	1 200	350		1 300	940	N.D	1 300	760	200	3 400
débit	9 l/s		0,38 l/s	1,2 l/s			25 l/s		F à M	F	T.F
SiO_2 (mg/l)	N.D	156.3	11		31.9	5		108.2	0.5	1.25	0.75
Ca^{++} (méq/l)	0.95	7.9	5.6	2.1	12	12	4.5	7.7	5.8	11.0	3.5
Mg^{++} "	1.2	3.3	5.0	1.3	1.5	0.96	2.1	3.3	2.28	0.94	0.246
Na^{+} "	2.0	1.7	1.06	0.8	1.6	1.96	2.6	2.2	1.6	38.6	0.35
K^{+} "		0.15	0.13		0.29	0.23		0.19	0.17	0.08	0.08
SO_4^{--} "	3.96	12.0	9.25	2.12	13	13.68	10.83	8.6	7.78	45.58	0.93
Cl^{-} "	1.94	1.30	2.78	1.1	0.47	0.6	1.9	3.3	1.48	4.0	1.2
HCO_3^{-} "	0.90	10^{-4}	0.16	1.69	0.44	0.40	0.93	0.22	0.24	0.0	0.0
total	10.98	26.30	23.98	9.11	29.00	29.56	22.86	26.00	19.35	98.20	6.256

1, Sautet *et al.*, 1952 ; 2, Demians d'Archimbaud *et al.*, 1972 ; 3, Dorel *et al.*, 1972 ; 4, Institut Pasteur, 1975.

Tableau II. — Localisation des points de prélèvements.

Source	Longitude	Latitude	Altitude (m)	Position/ Dôme	Distance/ Dôme (m)	Roche encaissante
G	643.34	1 773.96	1 067	Sud	760	Brèches de nuées ardentes
C	644.80	1 775.55	1 136	Nord-Est	600	Brèches de nuées ardentes
M	642.36	1 775.22	1 070	Nord-Ouest	1 200	Éboulis
B-J	742.76	1 773.50	950	Sud-Ouest	1 200	Dépôts de nuées ardentes
CC	645.36	1 774.48	650	Est	2 000	Dépôts de nuées ardentes
HR	639.60	1 775.22	572	Nord-Ouest	4 000	Éboulis
GC	646.50	1 774.00	560	Sud-Est	3 100	Dépôts de nuées ardentes
PT	642.80	1 774.00	1 074	Sud-Ouest	800	Dépôts de nuées ardentes, éboulis

G, Galion ; C, Carbet ; M, Matouba ; B-J, Bains-Jaunes ; CC, 2e chute du Carbet ; HR, Habitation Revel ; GC, Grosse-Corde ; PT, Piton Tarade.

Jaunes, de la 2e chute du Carbet, de l'Habitation Revel. Des prélèvements hebdomadaires à chacune de ces sources ont été effectués de novembre 1978 à octobre 1979 ; ils étaient accompagnés des mesures de la température, du pH et de la conductivité, ainsi que d'une estimation du débit. Une attention particulière a été accordée aux modes de prélèvements sur le terrain : pour le dosage des cations, les échantillons étaient immédiatement acidifiés par HCl ; pour la silice, les nitrates et les phosphates, une addition de chloroforme permettait de prévenir une altération par l'activité organique.

Les analyses chimiques des eaux prélevées, puis filtrées, ont été effectuées au laboratoire de Géochimie-Volcanologie du Centre universitaire Antilles-Guyane dans les meilleurs délais (au plus tard 2 à 3 jours après le prélèvement) et réalisées par :

— spectrophotométrie d'absorption atomique en flamme pour les cations majeurs (IL 151) ;

— spectrophotométrie d'absorption atomique sans flamme pour certains éléments à l'état de traces (IL 555) ;

— spectrophotométrie d'absorption UV-visible pour les anions et la silice (CE 292) ;

— dosage titrimétrique pour les carbonates et bicarbonates.

Les analyses isotopiques, oxygène 18 et tritium, ont été faites au Centre de Recherches géodynamiques de Thonon et les analyses de deutérium par le Centre d'Études nucléaires de Saclay.

HYDROCHIMIE GÉNÉRALE

Une analyse moyenne type de chaque source a été établie à partir des résultats obtenus pendant l'année d'étude. Les valeurs moyennes sont présentées dans le tableau III.

Tableau III. — Analyses moyennes types des sources chaudes du massif de la Soufrière.

	G	C	M	B-J	CC	HR	GC	PT
t° (C)	40°	66°5	48°	25°	45°5	34°	34°	30°
pH	4.45	5.90	5.79	5.22	6.76	6.79	6.75	6.17
C (µS/cm)	2 879	2 536	1 260	1 137	986	292	1 220	1 500
débit (l/s)	5	N.D	60	25	7 à 25		N.D	1
SiO_2 (mg/l)	156	176	33	105	79	72	73	96
Ca^{++} (méq/l)	19.1	16.2	13.9	8.6	4.4	1.5	6.1	12.4
Mg^{++} »	11.5	13.0	1.2	4.2	3.1	0.5	5.8	5.4
Na^{+} »	5.5	5.2	1.5	2.0	3.0	1.4	2.6	2.7
K^{+} »	0.9	0.7	0.2	0.3	0.5	0.1	0.4	0.4
SO_4^{--} »	20.9	22.6	15.2	10.0	3.9	0.7	5.6	13.9
Cl^{-} »	15.8	10.3	1.0	4.2	4.6	0.9	6.3	5.5
HCO_3^{-} »	0.1	1.5	0.3	0.4	2.5	2.0	2.8	0.8
Σ méq/l	73.7	69.6	33.3	29.6	22.9	7.1	29.4	41.2
Σ mg/l	2 246	2 168	1 116	930	711	254	928	1 226

Températures

Les températures des eaux étudiées varient suivant la source considérée et sont comprises entre 24°C et 69°C pour la période d'étude (de novembre 1978 à novembre 1979).

L'analyse chronologique des températures obtenues montre (fig. 2), quelle que soit la source considérée, une relative stabilité des valeurs avec les amplitudes annuelles inférieures à 4°C. Les températures semblent diminuer quand la pluviométrie augmente, avec toutefois un certain retard et de manière peu uniforme probablement en fonction de la vulnérabilité de chaque griffon aux écoulements de surface et hypodermiques.

pH

Les valeurs de pH mesurées se situent entre 5 et 7 ; les sources les plus éloignées du dôme (HR et CC) ayant un pH très proche de la neutralité. Les valeurs obtenues pendant

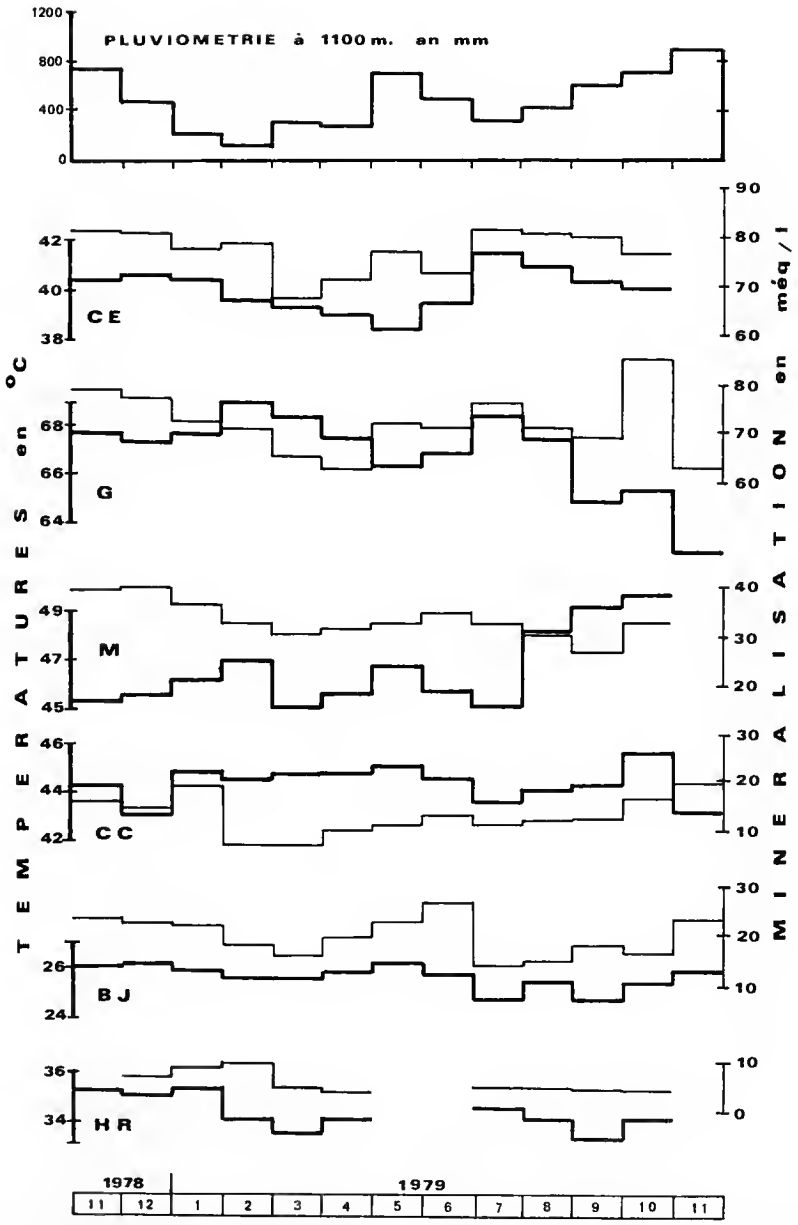


Fig. 2. — Évolutions des températures et des minéralisations totales des eaux de sources chaudes comparées à celle de la pluviométrie à 1 100 m d'altitude.

l'année sont, pour chacune des sources, d'une grande stabilité et ne varient guère que de quelques dixièmes d'unités pH en général.

Conductivité

Pour les sources suivies, trois types d'eaux peuvent être établis en fonction des valeurs de conductivité obtenues :

— les eaux chaudes ayant une conductivité supérieure à 2 000 µS/cm (G, C) ;

— les eaux chaudes ayant une conductivité comprise entre 2 000 et 1 000 µS/cm (M, B-J, CC) ;

— les eaux chaudes ayant une conductivité inférieure à 1 000 µS/cm (HR).

La proximité du dôme joue donc un rôle important sur les valeurs de conductivité relevées aux différentes sources ; en effet, ces valeurs augmentent lorsque diminue la distance de la source considérée au volcan de la Soufrière.

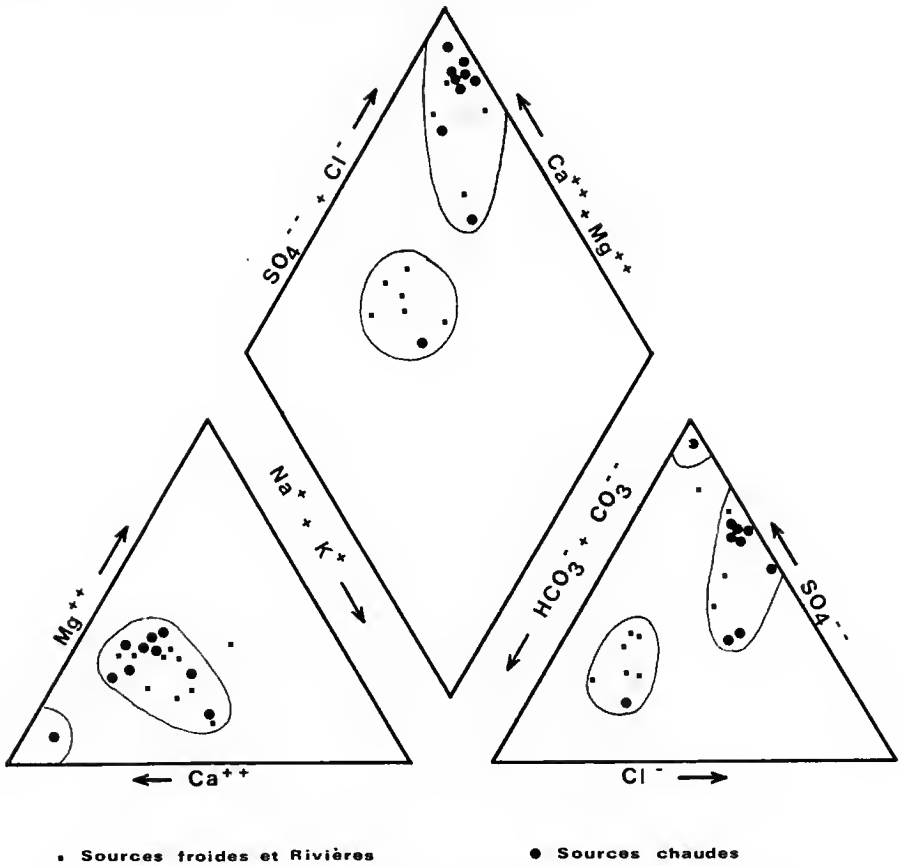


Fig. 3. — Eaux du massif de la Soufrière de Guadeloupe (diagramme de Piper).

Minéralisation

Les résultats d'analyses chimiques des eaux suivies et d'autres sources du pourtour de la Soufrière ont été reportés sur les diagrammes de Piper (fig. 3) qui ont permis de les regrouper en trois types (Pascaline, 1980) :

— type sulfaté-calcique comprenant la seule source chaude du Matouba ;

— type sulfaté-chlorurè calcique et magnésien regroupant les sources proches du dôme : Galion, Carbet, chute du Carbet, Bains-Jaunes, Piton Tarade, Grosse Corde et les autres sources du Carbet ;

— type bicarbonaté calco-sodique associant la source de l'Habitation Revel aux autres sources chaudes éloignées du dôme (Capès-Dolé) et aux sources froides.

Cependant, quel que soit le type considéré, ces eaux ont trois caractéristiques communes :

— la prédominance du calcium sur les autres cations [Ca^{++}/Σ^{+} compris entre 0,40 et 0,83 ($\Sigma^{+} = Ca^{++} + Mg^{++} + Na^{+} + K^{+}$ en méq/l)] ;

— la pauvreté en potassium et bicarbonates avec des teneurs toujours inférieures à 1 méq/l pour K^{+} et 2 méq/l pour HCO_3^{-} ;

— l'absence d'ion carbonate conformément aux valeurs de pH relevées.

Du point de vue chronologique, on remarquera que les mois secs se caractérisent par une baisse systématique de la minéralisation (fig. 2).

De plus, des quantités importantes de fer et de manganèse s'observent dans les sources proches du dôme, comme le montrent les valeurs reportées sur le tableau IV ; ces fortes teneurs concernent les sources chaudes les plus minéralisées, toutes situées à proximité du dôme.

Tableau IV. — Concentrations en mg/l du fer et du manganèse.

	G	C	M	BJ	CC	HR	GC	PT
Fe^{2+}	23	105	0,03	0,03	0,03	0,06	0,03	0,02
Mn^{2+}	11	13,5	0,65	2,3	0,0	0,0	0,0	0,0

La position des sources par rapport au dôme joue donc également un rôle très important sur la minéralisation des eaux ; en particulier, les eaux drainant les terrains quaternaires à mise en place très récente présentent des caractéristiques physico-chimiques tout à fait particulières.

CARACTÈRES DES FORMATIONS QUATERNAIRES TRÈS RÉCENTES DE LA SOUFRIÈRE

Les formations très récentes (âges inférieurs à 450 ans) que l'on rencontre dans la région du dôme de la Soufrière de Guadeloupe sont essentiellement de cinq types.

Des *dépôts et brèches de nuées ardentes* encadrés par les vallées principales (Grand Carbet, Galion) et entassés le long ou au bas des flancs du massif ; ces dépôts et brèches sont sûrement contemporains des *blocs de ponces* bien répartis au pied du dôme de la Soufrière et issus d'éruptions phréato-magmatiques à nuées ardentes verticales de type Soufrière de St-Vincent (Vincent *et al.*, 1979 ; Jérémie, 1980*a*), éruptions explosives ayant eu pour siège un large cratère dans lequel s'est installé le *dôme constitué d'andésites massives* ; cette éruption magmatique fut suivie d'un certain nombre d'événements phréatiques qui provoquèrent une intense fracturation du dôme ainsi que la mise en place de *niveaux de poussières et autres éléments*. Ceux-ci sont issus de la désagrégation et du concassage des roches du dôme et (ou) de roches plus anciennes et profondes qui jouent le rôle de réservoirs d'eaux et de gaz souterrains ; enfin, certaines de ces éruptions phréatiques favorisent la formation de *lahars argileux et d'éboulements rocheux*.

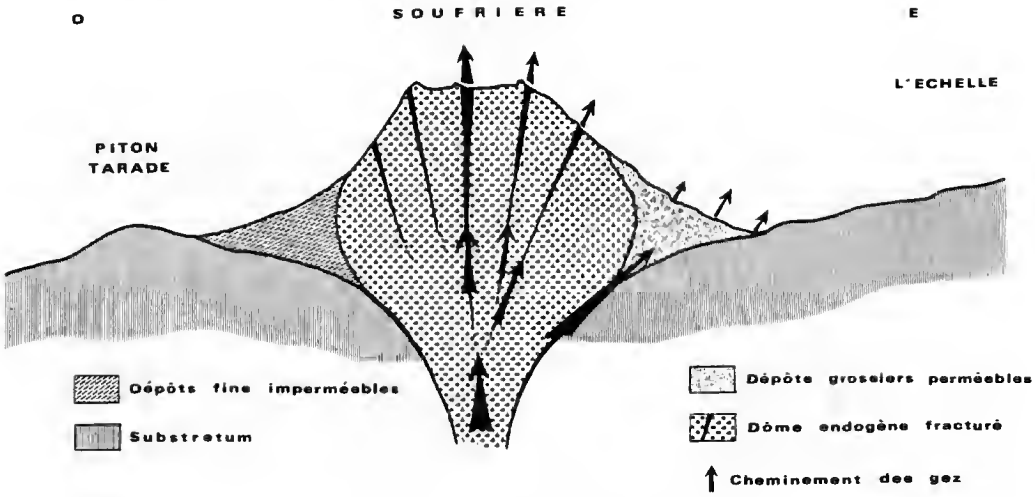


Fig. 4. — Schématisation de la circulation des gaz dans les terrains volcaniques d'âges très récents de la Soufrière de Guadeloupe.

En conséquence, comme l'illustre la figure 4, les conduits préférentiels des fluides souterrains vers la surface (en particulier les gaz fumerolliens) sont soit les fractures ouvertes du dôme, soit les discontinuités entre le dôme et les flancs de l'ancien cratère. On notera à ce sujet que ces zones de contact sont beaucoup plus colmatées et compactées du côté

ouest du dôme de la Soufrière, zone de retombées des dépôts fins, que du côté est où les éléments grossiers issus des éruptions phréatiques sont simplement entassés, d'où la forme en croissant de la zone à anomalies du flux de chaleur vue précédemment (fig. 1).

En toute logique, la manifestation des fluides souterrains qui traversent les terrains quaternaires très récents proches du dôme de la Soufrière dépend essentiellement des caractéristiques hydrogéologiques des formations rencontrées :

— Les zones colmatées et à placage d'éléments fins de l'ouest du dôme empêchent la formation de fumerolles et l'émergence de sources chaudes autres que celles éloignées du dôme et (ou) rencontrées au fond de vallées profondes (cas des sources du cours supérieur de la rivière Noire et de la ravine Marchand) ou le long de fractures importantes, comme c'est le cas pour les sources du Matouba et de l'Habitation Revel (Feuillard, 1976).

— Les zones à simple entassement de téphras et (ou) fractures ouvertes sont, par contre, le siège d'une activité fumerollienne soutenue et de nombreuses émergences d'eaux chaudes ; le lent déplacement dans le temps des zones d'activité fumerollienne au fur et à mesure que s'intensifient les phénomènes de « self sealing » (Facca et Tonani, 1967), ainsi que le remplacement immédiat d'un griffon par un nouveau, proche du précédent (lors de la mise en place d'un lahar par exemple), montrent combien sont perméables les dépôts de cette partie est du dôme. Les eaux chaudes les plus minéralisées (source du Carbet et du Galion) et situées au pied du dôme drainent ce type de terrain très récent.

— Enfin, un certain nombre d'aquifères servent d'écran aux fluides souterrains chauds qui montent vers la surface, en particulier aux gaz d'origine magmatique. Les eaux chaudes de ces réservoirs peuvent cependant apparaître en surface par l'intermédiaire de failles ou plus généralement de discontinuités tectoniques ou lithographiques. On rattachera les sources chaudes à débits constants et souvent importants (sources des Bains-Jaunes, de Piton Tarade, de la 2e chute du Carbet, de Grosse Corde) à ce type d'émergence après stockage souterrain.

ÉTUDE ISOTOPIQUE

L'hydrologie isotopique constitue un outil de premier choix en ce qui concerne les recherches sur l'origine des eaux, sur la localisation des bassins versants des sources et sur les temps de renouvellement des réservoirs qui les alimentent. Les résultats des dosages isotopiques de l'oxygène (^{18}O) et de l'hydrogène (D, ^{3}H), reportés sur le tableau V, ont permis d'avoir une idée globale sur la dynamique des eaux chaudes étudiées (Benauges, 1981).

Étude isotopique du « signal Pluie »

Le « signal entrée », constitué par les précipitations au niveau du massif de la Soufrière a été étudié pendant une année à partir de cinq stations : deux sur la côte au vent

TABLEAU V. — Résultats d'analyses isotopiques sur les eaux du massif de la Soufrière de Guadeloupe.

STATION	ALTITUDE DU PRÉLÈVEMENT (m)	DATE	^{18}O (‰)	^{3}H (UT)	D (‰)
		Pluies			
Soufrière	1 400	17.02/10.03.79	— 2,02		+ 2
		10.03/28.03.79	— 2,60	7 ± 1	
		28.08/16.09.79	— 6,25		— 33
		16.09/22.10.79	— 4,19	⩽ 2	— 17,6
		30.10/5.12.79	— 4,02	5 ± 1	
		5.12/31.12.79	— 3,33	⩽ 3	— 6,9
St-Claude	392	31.01/19.02.79	— 0,44		+ 11
Pointe-à-Pitre	20	David 29.08.79	— 11,00	⩽ 2	— 73,4
		Rivières (R) **et sources froides** (S)			
Petit-Carbet (R)	360	11.06.79	— 3,26		— 3,9
Bananier (R)	295	11.06.79	— 3,19		— 5,1
Galion (R)	400	11.06.79	— 2,92		— 5,7
Petit Marquisat (S)	325	11.06.79	— 3,12		— 5,8
Martha l'Hermitage (S)	360	11.06.79	— 3,06		— 4,9
St-Sauveur (S)	45	11.06.79	— 2,56		— 6,8
Dos d'Ane (S)	300	11.06.79	— 2,47		— 4,8
St-Charles (S)	220	11.06.79	— 2,54		— 6,3
		Sources chaudes			
Carbet	1 136	03.02.79	— 2,98		— 6,7
		12.03.79	— 3,50	10 ± 1	
		11.06.79			— 5,9
		01.10.79	— 3,40	5 ± 1	
Galion	1 067	08.04.78	— 3,11	10 ± 2	
		22.01.79	— 2,51		— 5,2
		19.03.79	— 2,60	10 ± 1	
		29.06.79	— 3,67		— 7,6
		01.10.79	— 3,21	11 ± 1	
Matouba	1 070	31.03.78	— 3,50	9 ± 2	
		13.03.79	— 3,45	5 ± 1	
		08.06.79	— 3,12		— 7,7
Bains-Jaunes	950	31.03.78	— 3,04	18 ± 2	
		12.03.79	— 3,04	10 ± 1	
		15.06.79	— 2,91		— 7,3
		01.10.79	— 4,12	7 ± 1	
Chute du Carbet	650	03.04.78	— 2,61	15 ± 3	
		13.03.79	— 2,37	13 ± 2	
		14.06.79	— 2,67		— 5,5
Habitation Revel	572	13.03.79	— 2,64	8 ± 1	
		03.07.79	— 2,37		— 5,9
		01.10.79	— 3,08	⩽ 3	

(Capesterre et Grand Carbet), deux sur la côte sous le vent (St-Claude et Basse-Terre) et une installée pour la première fois au sommet de la Soufrière par le Centre universitaire.

1. On note l'existence de gradients altimétriques des teneurs en ^{18}O variables suivant l'exposition aux alizés, d'une part, et la tranche d'altitude du versant au vent, d'autre part ; ces gradients ($\Delta_z{}^{18}O$) sont les suivants :

— pour la côte au vent : $\Delta_z{}^{18}O = -0{,}10\ ‰/100$ m entre 0 et 800 m d'altitude ; $\Delta_z{}^{18}O = -0{,}03\ ‰/100$ m au-dessus de 800 m d'altitude ;

— pour la côte sous le vent : $\Delta_z{}^{18}O = -0{,}13\ ‰/100$ m.

La présence quasi constante de masses nuageuses à partir de 800 m d'altitude sur la côte au vent, altitude correspondant à celle de la condensation moyenne des masses nuageuses (Butterlin, 1956), est à l'origine de la brusque diminution des valeurs de gradients. Ce phénomène rappelle celui étudié par Fontes *et al.* (1976) sur les monts Cameroun. Les valeurs trouvées pour les altitudes inférieures à 800 m sont proches de celles de la Martinique (Cayol, 1975, $\Delta_z{}^{18}O = -0{,}13\ ‰/100$ m) et conformes à un appauvrissement progressif des pluies avec l'altitude, par délestage d'une phase condensée plus riche en isotopes lourds que la vapeur originelle.

2. Les teneurs en ^{18}O et D des eaux de pluie vérifient la relation linéaire établie par Craig (1963) ; en effet, les données recueillies sur les pluies du sommet de la Soufrière et de la station de St-Claude (392 m) conduisent à la relation suivante ;

$$\delta D = (7{,}9 \pm 0{,}1)\ \delta^{18}O + (16 \pm 1)$$

conforme pour sa pente à la « droite météorique » mondiale d'équation :

$$D = 8\ \delta^{18}O + 10$$

mais avec une ordonnée à l'origine, ou « excès de deutérium », plus élevée.

3. Enfin, les teneurs en tritium sont faibles avec des teneurs de 7 UT en mars 1979, et voisines de 3 UT en automne pour les pluies au sommet de la Soufrière. Bien que partielles, ces données sont proches de celles relevées aux stations du réseau météorologique mondial (IAEA, 1970, 1971, 1973, 1975, 1979) de la Barbade (5,3 UT en 1979) ou de Porto-Rico qui peuvent servir de références pour une étude de l'évolution pluriannuelle du signal tritium météorique.

Origine des eaux chaudes

La position des sources chaudes sur le diagramme D/^{18}O (fig. 5) dans le même environnement que les sources froides du massif de la Soufrière et de part et d'autre immédiate de la droite des précipitations prouve leur origine météorique. Cette position implique en outre qu'aucune évaporation notable par rapport aux pluies recueillies, ni d'importants échanges isotopiques à haute température avec la roche réservoir ne se sont produits. Les points représentatifs de ces eaux sont trop éloignés de celui de l'eau de mer pour que l'on puisse également envisager une contamination des eaux chaudes par de l'eau de mer remontée par le volcan.

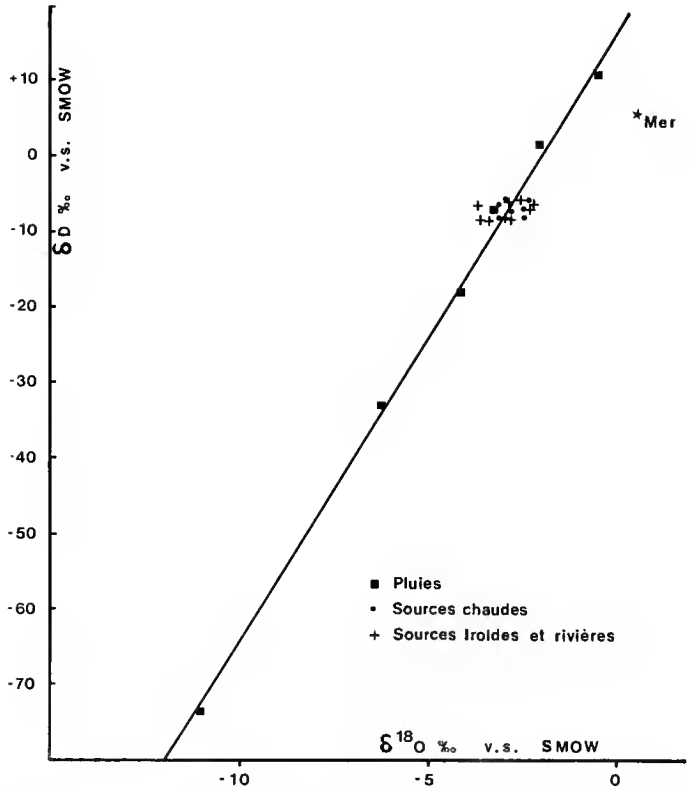


Fig. 5. — Composition isotopique des eaux du massif de la Soufrière de Guadeloupe.

Altitude des bassins hydrogéologiques

Connaissant la teneur actuelle en oxygène 18 des pluies au sommet de la Soufrière (— 3,85 ‰) et en tenant compte des gradients altimétriques mesurés, il a été possible de déterminer l'altitude moyenne vraisemblable du bassin d'alimentation des différentes sources chaudes étudiées (tabl. VI). Il est probable, étant donné les forts gradients pluviométriques, que l'altitude isotopique qui tient compte des quantités infiltrées est légèrement supérieure à l'altitude du bassin hydrogéologique réel. On remarquera (tabl. VI) que la différence entre l'altitude isotopique du bassin hydrogéologique et l'altitude de l'émergence de la source chaude est la plus élevée pour la source de Matouba et du Carbet. Cette observation fait penser à des circuits préférentiels directs et plus ou moins protégés entre les zones les plus hautes du volcan et ces émergences.

On remarquera surtout que l'altitude « isotopique » du bassin d'alimentation de la source Galion est inférieure à l'altitude de l'émergence. Cette impossibilité est à mettre sur le compte des incertitudes sur les mesures et les gradients faibles des pluies pouvant présenter une anomalie locale. Elle doit plutôt traduire un début d'échange isotopique

Tableau VI. — Teneurs moyennes en ^{18}O, variations et altitudes d'infiltration des eaux des sources chaudes de la Soufrière.

Source	Teneur moyenne en ^{18}O	Nombre valeurs	Écart-type sur la moyenne	Altitude isotopique d'infiltration (m)	Altitude de l'émergence (m)
C	— 3,43	14	0,431	1 400	1 136
G	— 2,79	18	0,324	950	1 067
M	— 3,34	16	0,176	1 350	1 070
B-J	— 2,98	19	0,204	1 100	950
CC	— 2,56	16	0,278	750	650
HR	— 2,51	11	0,232	700	572

de l'oxygène de l'eau minérale avec l'oxygène des roches encaissantes, enrichissement en ^{18}O qui se produit à haute température, vraisemblablement à partir de 250°C (Blavoux *et al.*, 1980).

Importance des réservoirs et âge de l'eau

La présence de tritium dans toutes les sources chaudes étudiées indique que les eaux sont récentes et d'âge inférieur à vingt ans. Les sources des Bains-Jaunes et de la chute du Carbet qui présentent des teneurs supérieures à celles des pluies de 1979 découleraient d'un mélange dans un réservoir important des précipitations des dix dernières années au moins. Mais cette estimation doit être considérée avec prudence car les données sur les précipitations et les sources, plus particulièrement celles du Carbet et de l'Habitation Revel, sont sensibles aux fluctuations saisonnières des précipitations.

De la même façon, si l'on considère les fluctuations des teneurs en oxygène 18 de chaque source, on doit admettre que les sources qui présentent les plus grands écarts (matérialisés par l'écart-type sur la moyenne dans le tableau VI) sont les plus sensibles aux variations saisonnières des précipitations et qu'en conséquence ce sont celles qui ont les réserves les plus faibles. Toutes les sources présentent des fluctuations saisonnières significatives et ont donc des réserves qui se renouvellent rapidement. Ces réserves correspondent à des aquifères situés à des profondeurs moyennes à faibles, compte tenu des températures présentées à l'émergence par les eaux et des gradients géothermiques importants de la région (Feuillard, 1976). La source chaude ayant le temps de renouvellement le plus rapide et donc les réserves les plus réduites est celle du Carbet (tabl. VI), alors qu'à l'inverse celle de Matouba est issue de l'aquifère le plus important.

SCHÉMA HYDROGÉOLOGIQUE DE LA SOUFRIÈRE

A partir des données hydrochimiques et isotopiques et en considérant les propriétés hydrogéologiques et hydrodynamiques des matériaux récents du dôme de la Soufrière, il est possible d'esquisser un schéma de circulation des eaux chaudes du massif. Ce modèle n'intéresse que la partie superficielle ou sous-cutanée du volcan, puisque l'étude de la vapeur d'eau des fumerolles n'est pas abordée dans ce travail.

Trois types de circulation ont pu être mis en évidence.

Type I : *Eaux à circulation peu profonde dans des pyroclastites récents et fortement minéralisées : sources du Galion et du Carbet*

Ces émergences du dôme se situent à des altitudes supérieures ou égales à 1 000 m. Du point de vue de leurs paramètres physiques, elles sont caractérisées par des températures, des débits et des conductivités variables dans l'année, du fait de leur circulation dans les couches peu profondes ; elles sont influencées de façon non négligeable par les températures extérieures et surtout la pluviométrie de la région. Du point de vue chimique, ce sont des eaux sulfatées, chlorurées, calciques et magnésiennes qui contiennent des quantités importantes de fer et de manganèse ; la forte minéralisation de ces eaux ne peut provenir, compte tenu de leur zone d'infiltration et leur type de circulation, que d'un échange intensif entre l'eau et la roche. Du point de vue isotopique, ce sont les eaux qui accusent les plus grandes variations en oxygène 18 et qui appartiennent donc aux aquifères les plus limités.

Les formations présentes sur le pourtour du dôme sont pour l'essentiel des pyroclastites émis lors des éruptions phréato-magmatiques et phréatiques. Elle sont largement imprégnées de sulfates solubles et de chlorures, comme le démontrent les résultats des expériences de « lixiviation » que nous avons effectuées sur les poussières fraîches de la dernière éruption phréatique de 1976-1977. Les eaux de lessivage obtenues indiquent, en effet, des teneurs de l'ordre de 50 méq/l de SO_4^{--} et de 20 méq/l de Cl^- pour un drainage de 100 g de « cendres » pendant 24 heures.

Lors de la traversée de ces formations, les eaux sont donc rendues agressives par la mise en solution rapide d'ions SO_4^{--} et Cl^- équilibrés dans un premier temps par la libération de protons H^+. Ces ions H^+, en pénétrant dans les structures cristallines, vont par la suite se substituer aux cations présents dans la roche et qui passent alors en solution.

Les espèces cationiques mobiles dominantes de la roche, le calcium et le magnésium, sont d'ailleurs effectivement retrouvées en grande quantité dans ce type d'eau. Les rapports Ca^{++}/Σ^+ ; $Mg^{++}/Na^+/\Sigma^+$ (où Σ^+ représente la somme de $Ca^{++} + Mg^{++} + Na^+ + K^+$), qui sont sensiblement les mêmes dans l'eau et la roche (Pascaline, 1980), confirment cette hypothèse (tabl. VII). De plus, la présence de quantités importantes de fer dans ces eaux résulte de l'action fumerollienne sur les roches entraînant la formation de pyrite, puis de l'attaque par ce type d'eau agressive qui circule dans les pyroclastites peu soudés facilitant le passage aussi bien des gaz fumerolliens que des eaux.

Tableau VII. — Concentrations relatives des cations majeurs dans les eaux des sources chaudes et la roche type.

	Ca^{++}/Σ^{+}	Mg^{++}/Σ^{+}	Na^{+}/Σ^{+}	K^{+}/Σ^{+}
Roche	0,50	0,28	0,18	0,04
G	0,52	0,31	0,15	0,02
C	0,46	0,37	0,15	0,02
M	0,83	0,07	0,08	0,02
B-J	0,57	0,28	0,13	0,02
CC	0,40	0,28	0,27	0,05
HR	0,42	0,15	0,39	0,04
GC	0,42	0,38	0,18	0,02
PT	0,60	0,25	0,13	0,02

Type II : *Sources d'aquifères peu profonds à minéralisation moyenne : sources de la 2e chute du Carbet, des Bains-Jaunes, de Grosse Corde et du Piton Tarade*

Ces sources, plus éloignées du dôme que les précédentes, sourdent à des altitudes comprises entre 700 et 1 000 m, donc inférieures à la côte des niveaux piézométriques reconnus lors des forages de la Savane à Mulets et de l'Échelle (Feuillard, 1976). Du point de vue de leurs paramètres physiques, ces sources montrent un débit constant dans l'année et des températures stables et peu élevées témoignant de l'existence d'aquifères importants. Sur le plan chimique, ces eaux sont du même type que les précédentes avec cependant, pour les sources de Grosse Corde et de la 2e chute du Carbet situées à l'est, une influence fumerollienne bien moins marquée en rapport avec leurs positions plus éloignées du dôme. En outre, les teneurs en bicarbonates de ces deux dernières sources découleraient de la présence de sols avec couverture végétale dense et activité bactérienne élevée sur leur bassin d'alimentation. L'altitude isotopique plus faible du bassin d'alimentation de la source de la chute du Carbet le confirme.

Leurs caractéristiques physiques, chimiques et isotopiques indiquent que les eaux de ces sources sont issues d'aquifères importants et peu profonds. L'écoulement des eaux de ces aquifères se fait à la faveur de discontinuités lithographiques bien visibles sur le terrain comme les contacts de brèches de nuées ardentes sur des laves massives ou lahars. Les sources de Grosse Corde et de la 2e chute du Carbet illustrent parfaitement ce type de circulation dans les dépôts de nuées ardentes d'âges très récents (Jérémie, 1980*b*) localisés entre les rivières du Grand Carbet et de Grosse Corde. Ces dépôts, limités par deux rivières et installés dans une vallée fossile suivant le schéma proposé par Mouret (1979) pour la rivière Capot en Martinique, constituent des aquifères à forte perméabilité dont la nappe est rabattue au niveau des vallées et les émergences localisées au niveau de leur mur (fig. 6). De la même façon, les émergences des sources des Bains-Jaunes par l'intermédiaire de cheminées de dégazage (Mouret, 1979) sont une preuve supplémentaire de la circulation de ce type d'eaux dans des dépôts de nuées ardentes.

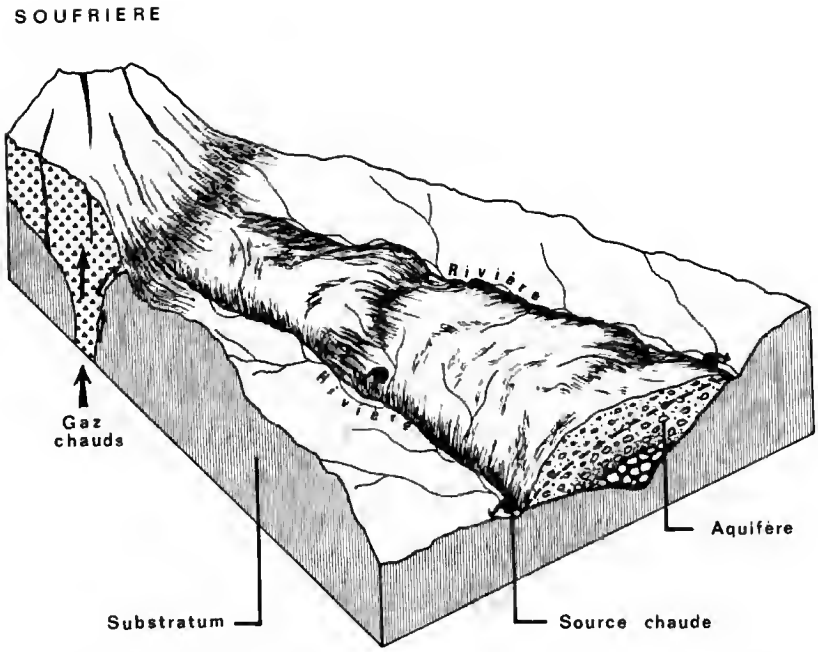


Fig. 6. — Bloc diagramme schématique de la circulation d'eaux chaudes dans les dépôts de nuées ardentes de la Soufrière de Guadeloupe.

Type III : *Source d'aquifères peu profonds et à minéralisation faible due à la présence de gypse : source captée du Matouba*

Cette source, située à l'ouest du dôme, a une zone d'alimentation située à une altitude de l'ordre de 1 350 m, ce qui implique un long trajet souterrain dans un aquifère protégé par les dépôts colmatés de cette région. L'existence d'une faille Est-Ouest passant par la coulée du Nez Cassé (Feuillard, 1976) favorise la remontée des eaux qui se fait pour l'essentiel au niveau de la source du Matouba qui présente au captage des débits et des températures élevés et constants et des caractéristiques isotopiques indiquant son appartenance à l'aquifère le plus important.

L'analyse chimique indique une eau sulfatée calcique obtenue par dissolution sur son trajet des masses gypseuses reconnues dans la région (de Reynal, 1966). Excepté les sulfates et le calcium, la minéralisation resterait faible. L'eau de la source Matouba, après infiltration rapide par l'intermédiaire des fractures du dôme et au niveau de terrains plus anciens du volcanisme de Carmichaël, est d'abord stockée et réchauffée dans un aquifère peu profond, avant de resurgir à la surface à la faveur de l'accident tectonique mentionné précédemment. Elle n'est donc pas (ou très peu) influencée par les pyroclastites récents et subit vraisemblablement l'effet de thermosiphon (Demians d'Archimbaud et Surcin, 1972), vu les altitudes respectives de sa zone d'infiltration et de résurgence.

La source de l'Habitation Revel, située à 2 600 m en aval de Matouba, présente un débit faible et très irrégulier avec tarissement en saison sèche. Si ce n'est sa température plus élevée que la normale, elle présente une minéralisation faible et très proche de celle des sources froides. L'altitude isotopique plus basse de sa zone d'alimentation (700 m) et la présence de bicarbonates dans l'eau confortant l'idée d'un bassin hydrogéologique à converture forestière indiquent qu'elle s'écoule d'un aquifère local probablement réchauffé par un thermosiphon analogue à celui du système de Matouba.

CONCLUSION

1. Par l'interprétation des caractères physico-chimiques et isotopiques des sources chaudes du pourtour de la Soufrière et en tenant compte de la structure et des caractères hydrogéologiques des terrains liés à l'activité récente de ce volcan, nous avons pu définir trois types de circulations souterraines :

— les eaux à circulation peu profonde dans les pyroclastites récents peu soudés, eaux fortement minéralisées et sous influence fumerollienne ;

— les émergences d'aquifères de nuées ardentes, importants, peu profonds, à minéralisation moyenne, qui restent marquées par leur passage dans les pyroclastites récents et arrivent en surface au niveau de discontinuités lithographiques ;

— les émergences d'aquifères peu profonds à minéralisation faible due pour l'essentiel à la présence de gypse, ayant peu de contact avec les pyroclastites récents et remontant sous l'effet de thermosiphons par l'intermédiaire de failles.

2. Ce schéma hydrogéologique doit être précisé et complété par l'étude des vapeurs accompagnant les fumerolles pour connaître les circulations plus profondes. Toutefois, dans la perspective d'une surveillance des sources chaudes pour prévoir les risques volcaniques, notre travail montre que seuls doivent être pris en considération les sources du premier type et les aquifères situés dans les zones fumerolliennes. En effet, si les périodes de crises volcaniques sont précédées de modifications des caractéristiques physico-chimiques des gaz souterrains, encore faut-il que ces modifications soient transmises rapidement et de façon significative aux exutoires étudiés. Dans le cas de la Soufrière de Guadeloupe, les sources du Carbet et à un degré moindre du Galion, ainsi que les aquifères déjà connus du pourtour actif du dôme, devraient être équipés en conséquence.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Benauges, S., 1981. — Étude géochimique et isotopique des eaux de sources chaudes, sources froides et rivières du massif de la Soufrière de Guadeloupe. Thèse de 3e cycle, Paris.

Blavoux, B., et J. Sarrot-Reynauld, 1980. — Apport des analyses isotopiques à la connaissance de l'origine des eaux et des gaz des sources thermominérales. Résumés du 26e Congrès Géologique International, Paris, **3** : 1088. (Sous presse dans volume spécial Elsevier.)

Bruet, E., 1953. — L'âge absolu de la dernière grande éruption pélécnne de la Soufrière de Guadeloupe. *Bull. volcan.*, 2e sér., **13** : 105-107.

Butterlin, J., 1956. — La constitution géologique et la structure des Antilles. Éd. CNRS : 453 p.

Cayol, A., 1975. — Contribution à l'étude hydrologique et hydrodynamique de la Martinique. Thèse de 3e cycle, Paris.

Craig, H., 1963. — The isotopic geochemistry of water and carbon in geothermal areas. *In* : Nuclear Geology of Geothermal Areas. Tongiorgi ed. p. 53-92.

Demians d'Archimbaud, J., et J. Surcin, 1972. — Recherches géothermiques en Guadeloupe. *Revue Géogr. phys. Géol. dyn.*, 2e sér., **14** (3) : 211-228.

Dorel, J., S. Eschenbrenner, et M. Feuillard, 1972. — Les volcans actifs de la Guadeloupe et de la Martinique, Petites Antilles. *Bull. volcan.*, **36** (2) : 259-281.

Facca, G., et F. Tonani, 1967. — The self-sealing geothermal field. *Bull. volcan.*, **30** : 271-273.

Feuillard, M., 1976. — Études thermiques à la Soufrière de Gaudeloupe. *Bull. B.R.G.M.*, section IV, **4** : 275-388.

Fontes, J.-Ch., et J. C. Olivry, 1976. — Gradient isotopique entre 0 et 4 000 m dans les précipitations du Mont Cameroun. Résumés C.A. Réunion annuelle Sciences de la Terre. Paris, Soc. géol. Fr., p. 171.

International Atomic Energy Agency. — Environmental isotope data nos 1 (1969) ; 2 (1970) ; 3 (1971) : 4 (1973) ; 5 (1975) ; 6 (1979).

Jérémie, J. J., 1980*a*. — Mécanisme des éruptions phréatiques de la Soufrière de Guadeloupe ; proposition d'un modèle hydrodynamique. *C. r. hebd. Séanc. Acad. Sci., Paris*, D, **290** : 507-510.

— 1980*b*. — Ages des certaines formations pyroclastiques du volcanisme quaternaire de la Basse-Terre de Guadeloupe, Petites Antilles. *C. r. hebd. Séanc. Acad. Sci., Paris*, D, **290** : 843-846.

Mouret, C., 1979. — Contribution à l'étude hydrogéologique d'un bassin versant en milieu volcanique tropical — Rivière Capot (Martinique). Thèse de 3e cycle, Paris.

Pascaline, H., 1980. — Géochimie des roches et des eaux de sources chaudes du massif de la Soufrière de Guadeloupe. Thèse de 3e cycle, Orsay.

Reynal de Saint-Michel, A. de, 1966. — Feuilles de Basse-Terre. *Feuille Not. explic. Carte géol. détaillée Fr. Dép. Guadeloupe*, 1/50 000, Paris.

Robson, G., et J. F. Tomblin, 1960. — Catalogue of the active Volcanoes of the world including solfatara field. International Association Volcanology, Rome. Part XX, West Indies : 1-56.

Sautet, J., 1952. — Les ressources hydrominérales de la Guadeloupe. Syndicat d'initiative de Basse-Terre, Guadeloupe.

Vincent, P. M., N. Vatin-Perignon, M. Semet et J. L. Cheminee, 1979. — Le Dôme de la Soufrière (Guadeloupe) : son âge et son mode de mise en place. *C. r. hebd. Séanc. Acad. Sci., Paris*, D, **288** : 51-54.

Bull. Mus. natn. Hist. nat., Paris, 4e sér., **4**, 1982,
section C, nos 3-4 : 157-163.

Types et Figurés de Crustacés fossiles non Décapodes du Muséum national d'Histoire naturelle

par René-Pierre Carriol

Résumé. — Inventaire des Types et Figurés de Crustacés fossiles non Décapodes (Branchiopoda, Cirripedia, Malacostraca : Syncarida, Peracarida, Hoplocarida) donnant l'identité ainsi que l'état qualitatif et quantitatif du matériel répertorié (29 pièces).

Abstract. — Catalogue of the Type and Figured specimens of fossils not Decapoda Crustacea (Branchiopoda, Cirripedia, Malacostraca : Syncarida, Peracarida, Hoplocarida) giving identity and also quantitative and qualitative state of indexed material (29 pieces).

R. P. Carriol, *Institut de Paléontologie, Muséum national d'Histoire naturelle, 8, rue Buffon, 75005 Paris.*

Cet inventaire est le premier d'une série qui constituera le catalogue des Types et Figurés des collections d'Invertébrés fossiles du Muséum national d'Histoire naturelle. Il s'inscrit dans le cadre d'un travail d'identification et de classement des collections d'Invertébrés fossiles, réalisé sous la direction de M. J.-C. Fischer, Sous-Directeur au Muséum (Institut de Paléontologie), et, en ce qui concerne les Crustacés, sous la responsabilité de Mme S. Secretan, Maître de Recherche au Centre national de la Recherche scientifique.

Les vingt-neuf pièces inventoriées comme Types ou Figurés sont présentées par ordre alphabétique d'espèce (leur nom d'espèce étant celui qu'elles portent dans la publication où elles sont figurées). Pour chacune d'elles, une référence bibliographique indique descriptions et illustrations la concernant pour une publication donnée. Puis les spécimens s'y référant sont désignés par leur numéro et accompagnés d'informations dûment vérifiées donnant l'identité ainsi que l'état qualitatif et quantitatif du matériel. On distinguera pour chaque spécimen : le collecteur ou la collection, le mode de figuration (dessin, photo), l'état de conservation, la provenance tant stratigraphique que géographique, la position systématique et les remarques s'y rapportant éventuellement (la classification adoptée est celle du « Treatise on Invertebrate Paleontology » de R. C. Moore).

Les spécimens Types et Figurés de Crustacés fossiles non Décapodes détenus par le Muséum, s'ils ont une large répartition stratigraphique (du Permien au Pliocène), sont cependant peu abondants. Mis à part quelques spécimens manquants, figurés par J. Roger (1946) et R. de Saint-Seine (1954 et 1955) — que l'on a tout lieu de croire perdus —, il est peu probable que d'autres spécimens aient échappé aux recherches. Si tel était néanmoins le cas, ils feraient l'objet d'un complément au présent inventaire.

Du point de vue systématique, les spécimens du Muséum appartiennent exclusivement à trois classes, Branchiopoda, Cirripedia et Malacostraca, et, dans cette dernière, aux super-ordres Syncarida, Peracarida et Hoplocarida.

Les Decapoda conservés au Muséum sont assez nombreux et seront traités à part. Le travail concernant leur classement, leur numérotation et l'établissement de leur typothèque est déjà réalisé. Il reste à entreprendre le contrôle des informations à consigner dans leur inventaire.

Voici maintenant la liste concernant les Crustacés non Décapodes, effectuée en premier, pour des raisons de compétence personnelle, et pour lancer le catalogue des Types et Figurés des collections d'Invertébrés fossiles du Muséum.

Balanus (Balanus) amphitrite amphitrite Darwin, 1854

1963. — C. Davadie : 43-49, pl. XIX, fig. 3-5, pl. XX, fig. 1-5, pl. XXI, fig. 1a-2b.

N° IPM B 33259 : Collection non précisée. Spécimen figuré pl. XIX, fig. 4 (photo) : 2 chapiteaux accolés, état moyen ; valves operculaires absentes. Provenance : Burdigalien de Dar el Beida (désert entre Le Caire et Suez), Égypte.

Position systématique. — Cirripedia, Thoracica, Balanomorpha.

Balanus (Balanus) amphitrite obscurus Darwin, 1854

1963. — C. Davadie : 43-49, pl. XIX, fig. 2, pl. XXII, fig. 1a-2b.

N° IPM R 3583 : Collection non précisée. Spécimen figuré pl. XIX, fig. 2 (photo) : colonie en bon état sur Lamellibranche, absence de valves operculaires. Provenance : Pliocène de Suez, Égypte.

Position systématique. — Cirripedia, Thoracica, Balanomorpha.

Balanus (Balanus) crenatus Bruguière, 1789

1963. — C. Davadie : 63-65, pl. XXXIV, fig. 1-7, pl. XXXVI, fig. 4-5, pl. XXXVII, fig. 3 4 et pl. XXXVIII, fig. 1-2.

N° IPM R 3581 : Collection non précisée. Spécimen figuré pl. XXXIV, fig. 2 et 3 (photo) : muraille en bon état, absence de la base et des valves operculaires. Provenance : Pliocène du Canal de Suez, Égypte.

Position systématique. — Cirripedia, Thoracica, Balanomorpha.

N° IPM B 39360 : Collection non précisée. Spécimen figuré pl. XXXIV, fig. 5 (photo) : colonie fixée sur Pectinidé, bases et murailles en bon état, présence de quelques valves operculaires. Provenance : Pliocène du Canal de Suez, Égypte.

Position systématique. — Cirripedia, Thoracica, Balanomorpha.

Pseuderichthus cretaceus Dames, 1886

1946. — J. Roger : 50-52, fig. 38, pl. IV, fig. 4 et pl. V, fig. 7-8.

N° IPM B 18846 : Coll. Arambourg. Spécimen figuré pl. V, fig. 8 (photo) : empreinte complète en bon état. Provenance : Sénonien de Sahel-Alma, Liban.

Position systématique. — Malacostraca, Hoplocarida, Stomatopoda.

Remarque. — Dans le Treatise on Invertebrate Paleontology (1969, part R, Arthropoda 4, vol. 2 : R 544), Holthuis et Manning émettent un doute sur le statut du genre *Pseuderichthus*. Il pourrait s'agir de larves appartenant à d'autres genres comme *Sculda* ou *Pseudosculda*.

Protozoe damesi Roger, 1946

1946. — J. Roger : 59-61, fig. 49, pl. VI, fig. 7-9.

N° IPM B 18842 et *IPM B 18843* : Coll. Arambourg. Syntypes représentés en photo, le premier pl. VI, fig. 8, et le second pl. VI, fig. 7 : empreintes complètes en bon état. Provenance : Sénonien de Sahel-Alma, Liban.

Position systématique. — Malacostraca, Hoplocarida, Stomatopoda.

Remarque. — Dans le Treatise on Invertebrate Paleontology (1969, part R, Arthropoda 4, vol. 2 : R 544) Holthuis et Manning font remarquer que Roger range le genre *Protozoea* (improprement désigné par lui *Protozoe*) non plus dans les Stomatopoda, mais dans les Branchiopoda.

Scalpellum darwinianum Bosquet, 1853

1887. — M. A. Péron, V. Gauthier, J. Lambert : 126-128, pl. III, fig. 1-4.

N° IPM R 3520 : Coll. Péron. Spécimen figuré pl. III, fig. 1-4 (dessins) : carène cassée à ses deux extrémités. Provenance : Sénonien de Reims, Marne, France.

Position systématique. — Cirripedia, Thoracica, Lepadomorpha. On range actuellement cette espèce dans le genre *Virgiscalpellum*.

Mitella fallax (Darwin, 1851)

1887. — M. A. Péron, V. Gauthier, J. Lambert : 123-124, pl. III, fig. 5-9.

N° IPM R 3521 : Coll. Péron. Spécimen figuré pl. III, fig. 5-9 (dessins) : carène en bon état. Provenance : Sénonien de Reims, Marne, France.

Posision systématique. — Cirripedia, Thoracica, Brachylepadomorpha. Darwin avait placé cette espèce dans le genre *Pollicipes*. Depuis la création du genre *Brachylepas* c'est dans ce taxon qu'elle est rangée.

Acasta fischeri Locard, 1877

1877. — A. Locard, G. Cotteau : 18, pl. I, fig. 3-4.

N° IPM R 3522 : Coll. Péron. Holotype figuré pl. I, fig. 3-4 (dessins) : en bon état mais incomplet (absence des valves operculaires). Provenance : Miocène de Santa Manza près de Bonifacio, Corse, France.

Position systématique. — Cirripedia, Thoracica, Balanomorpha.

Remarque. — On peut douter de la validité de cette espèce car d'une part elle est ondée sur un spécimen unique dépourvu de ses valves operculaires, d'autre part, depuis Locard, elle n'a plus jamais été citée dans la littérature ; enfin elle ne diffère d'*Acasta spongites* Poli que par la « forme qui est plus haute, plus étroite et plus allongée, les papilles plus nombreuses, la capsule plus profonde » (Locard, 1877).

Protozoe hilgendorfi Dames, 1886

1946. — J. Roger : 55-59, fig. 46, pl. VI, fig. 5-6 et pl. VII, fig. 1-3.

N° IPM B 18839 et *IPM B 18845* : Coll. Arambourg. Spécimens représentés en photo, le premier pl. VII, fig. 3, et le second pl. VII, fig. 1 : empreintes sub-complètes en bon état. Provenance : Sénonien de Sahel-Alma, Liban.

Posision systématique. — Malacostraca, Hoplocarida, Stomatopoda.

Remarque. — Dans le Treatise on Invertebrate Paleontology (1969, part R, Arthropoda 4, vol. 2 : R 544), Holthuis et Manning font remarquer que Roger range le genre *Protozoea* (improprement désigné par lui *Protozoe*) non plus dans les Stomatopoda mais dans les Branchiopoda.

Pseudosculda laevis (Schluter, 1872)

1946. — J. Roger : 48-49, fig. 37, pl. IV, fig. 2-3.

N° IPM B 18853 et *IPM B 18855* : Coll. Arambourg. Spécimens représentés en photo, le premier pl. IV, fig. 2, et le second pl. IV, fig. 3 : empreintes complètes ou presque, en bon état. Provenance : Cénomanien de Hakel (ou de Maifouk, une localité proche), Liban.

Position systématique. — Malacostraca, Hoplocarida, Stomatopoda. Cette espèce, synonyme de *Squilla lewisii* Woodward, fut à sa création, en 1872 par Schluter, placée dans le genre *Sculda*.

Rogerella mathieui R. de Saint-Seine, 1955

1955. — R. de Saint-Seine : 299-303, pl. XVI, fig. 4-6, pl. XVII, fig. 1-4.

N° IPM R 3523 : Coll. Morgan n° 527. Holotype représenté en photo pl. XVI, fig. 4 : loge en bon état sur *Micraster coranguinum*. Provenance : Santonien d'Arras, Pas-de-Calais, France.

Position systématique. — Cirripedia, Acrothoracica.

Zapfella pattei R. de Saint-Seine, 1954

1954. — R. de Saint-Seine : 447-451, pl. XVIII, fig. 1-3, pl. XIX, fig. 1-6, pl. XX, fig. 1-7.

N° IPM R 3524 : Coll. R. de Saint-Seine. Spécimen figuré pl. XVIII, fig. 3 (photo) : loges égueulées sur *Melongena cornuta*. Provenance : Miocène moyen de Noyant sur le Lude, Anjou, France.

Position systématique. — Cirripedia, Acrothoracica.

N° IPM R 3525 : Coll. Fischer. Spécimen figuré pl. XIX, fig. 2 (photo) : loges en bon état sur *Terebra* sp. Provenance : probablement des faluns de Touraine, France, donc du Miocène moyen.

Position systématique. — Cirripedia, Acrothoracica.

N° IPM R 3526 : Coll. Fischer. Spécimen figuré pl. XIX, fig. 3 (photo) : loges confluantes sur un *Terebra* ayant été roulé. Provenance : d'après R. de Saint-Seine, probablement faluns de Touraine, France. Postérieurement, détermination du *Terebra* comme *Terebra modesta* des faluns de Touraine, donc du Miocène moyen.

Position systématique. — Cirripedia, Acrothoracica.

N° IPM R 3527 : Coll. R. de Saint-Seine. Spécimen figuré pl. XIX, fig. 1 (photo) : loges en bon état dans un fragment de roche. Provenance : Miocène de Pontlevoy, Loir-et-Cher, France.

Position systématique. — Cirripedia, Acrothoracica.

N° IPM R 3528 et *IPM R 3529* : Coll. Fischer. Spécimens représentés en photo, pour la forme naine pl. XX, fig. 3, et pour la forme normale pl. XX, fig. 4 : loges en bon état sur *Neohibolites* sp. Provenance : Néocomien de Castellane, Alpes-Maritimes, France.

Position systématique. — Cirripedia, Acrothoracica. Mis en synonymie avec *Brachyzapfes elliptica* lors de la création de ce taxon par Codez en 1957.

Nectotelson rochei Brocchi, 1880

1880. — P. Brocchi : 5-10, pl. I, fig. 1-6.

N° IPM R 3530 : Collection non précisée. Syntype dessiné pl. I, fig. 2 : empreinte en bon état de l'animal vu de profil. Provenance : Permien d'Autun, Saône-et-Loire, France.

Position systématique. — Malacostraca, Syncarida, Palaeocaridacea. Actuellement rangé dans le genre *Paleocaris* (Brooks, 1969, *in* Moore, part R : R 355).

Remarque. — Représentation photographique dans le Treatise on Invertebrate Paleontology [1969, part R, Arthropoda 4, vol. 1 : R 356, fig. 170 (1c)].

Balanus (Balanus) spongicola Brown, 1827

1963. — C. Davadie : 49-52, pl. XXIV, fig. 1-7, pl. XXV, fig. 1-5, pl. XXVII, fig. 1-2.

N° IPM B 33243 : Collection non précisée. Spécimen figuré pl. XXIV, fig. 1 (photo) : base et muraille en bon état ; valves operculaires absentes. Provenance : Burdigalien de Dax, Landes, France.

Position systématique. — Cirripedia, Thoracica, Balanomorpha.

N° IPM R 3582 : Collection non précisée. Spécimen figuré pl. XXIV, fig. 3 (photo) : portion de chapiteau en bon état, absence de la base, présence des 2 paires de valves operculaires. Provenance : Miocène de Menzel-Temime, Tunisie.

Position systématique. — Cirripedia, Thoracica, Balanomorpha.

Sculda syriaca Dames, 1886

1946. — J. Roger : 47-48, pl. VI, fig. 4.

N° IPM B 18856 : Coll. Arambourg. Spécimen figuré pl. VI, fig. 4 (photo) : empreinte complète en bon état. Provenance : Cénomanien d'Hakel (ou de Maifouk, une localité proche), Liban.

Position systématique. — Malacostraca, Hoplocarida, Stomatopoda.

Branchiopode sp. 1 Roger, 1946

1946. — J. Roger : 61, pl. VII, fig. 4.

N° IPM B 18836 : Coll. Arambourg. Spécimen figuré pl. VII, fig. 4 (photo) : empreinte incomplète en assez bon état. Provenance : Sénonien de Sahel-Alma, Liban.

Position systématique. — Branchiopoda.

Branchiopode sp. II Roger, 1946

1946. — J. Roger : 61-62, fig. 50, pl. III, fig. 5.

N° IPM B 18837 : Coll. Arambourg. Spécimen dessiné fig. 50 et photographié pl. III, fig. 5 : empreinte incomplète en assez bon état. Provenance : Sénonien de Sahel-Alma, Liban.

Position systématique. — Branchiopoda.

Eucopia sp. Roger, 1946

1946. — J. Roger : 52-53, fig. 40, pl. III, fig. 3-4.

N° IPM B 18850 et *IPM B 18851* : Coll. Arambourg. Spécimens représentés en photo, le premier pl. III, fig. 4, et le second pl. III, fig. 3 : empreintes sub-complètes en assez bon état. Provenance : Sénonien de Sahel-Alma, Liban.

Position systématique. — Malacostraca, Peracarida, Mysidacea.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Brocchi, P., 1880. — Note sur un crustacé fossile recueilli dans les schistes d'Autun. *Bull. Soc. géol. Fr.*, 3e sér., **8** : 5-10, 1 pl.

Davadié, C., 1963. — Systématique et structure des Balanes fossiles d'Europe et d'Afrique. Éd. CNRS, Paris : 126 p., 58 fig., 55 pl., bibl. (75 réf.).

Holthuis, L. B., et R. B. Manning, 1969. — Stomatopoda. *In* : Treatise on Invertebrate Paleontology, part R, Arthropoda 4, vol. 2 : R 535-R 552.

Locard, A., et G. Cotteau, 1877. — Description de la faune des terrains tertiaires de la Corse. *Annls Soc. Agri., Hist. nat., Arts Utiles Lyon* : 374 p., 17 pl.

Péron, M. A., V. Gauthier, et L. Lambert, 1887. — Notes pour servir à l'histoire du terrain de craie dans le sud-est du bassin anglo-parisien. *Bull. Soc. sci. hist. nat. Yonne*, Auxerre, 3e sér. : 222 p., 1 fig., 8 pl.

Roger, J., 1946. — Résultats scientifiques de la mission C. Arambourg en Syrie et en Iran (1938-39). I. Les invertébrés des couches à poissons du Crétacé supérieur du Liban. *Mém. Soc. géol. Fr.*, Paris, n. s., **23** (2), Mém. 51 : 1-92, 53 fig., 10 pl., bibl. (144 réf.).

Saint-Seine, R. de, 1954. — Existence de Cirripèdes Acrothoraciques dès le Lias : *Zapfella pattei* nov. gen., nov. sp. *Bull. Soc. géol. Fr.*, 6e sér., **4** : 447-451, 3 pl., bibl. (16 réf.).

— 1956. — Les Cirripèdes Acrothoraciques échinicoles. *Bull. Soc. géol. Fr.*, 6e sér., **5** (4-6) : 299-303, 2 pl., bibl. (5 réf.).

Treatise on invertebrate paleontology, 1969. — Dir. et ed. R. C. Moore, Part R, Arthropoda 4, 2 vol.

Bull. Mus. natn. Hist. nat., Paris, 4e sér., **4**, 1982,
section C, nos 3-4 : 165-207.

Le Phocidae (Mammalia) miocène de la formation Paraná (Entre Ríos, Argentine)

par Christian de Muizon et Mariano Bond

Résumé. — *Properiptychus argentinus* (Ameghino, 1893), dont l'holotype fut rattaché par Ameghino (1893 et 1897) à un Condylarthre, est reconnu comme un Monachinae (Phocidae, Mammalia) provoquant ainsi une révision du matériel de Phocidae du Miocène moyen de la formation Paraná (Entre Rios). Tous les fossiles sont rattachés à la même espèce et le matériel, peu abondant, se compose de quelques dents isolées, de fragments de maxillaire et de mandibule et d'éléments postcrâniens non décrits (humérus, radius, coxal, fémur, Mt I postérieur). Sa description, ici réalisée, et son interprétation font de *Properiptychus argentinus* une forme archaïque nettement distincte d'*Homiphoca capensis* du Pliocène inférieur d'Afrique du Sud. Les deux Monachinae appartiennent à des lignées différentes, et c'est très probablement au voisinage de *Pristiphoca* du Miocène moyen et Pliocène inférieur que l'on doit rechercher l'origine de *Properiptychus argentinus*. Cette nouvelle interprétation du Phocidae argentin amène à une discussion sur la dispersion des Monachinae dans l'hémisphère Sud.

Resumen. — *Properiptychus argentinus* (Ameghino 1893), cuyo holotipo fue asignado por Ameghino (1893 y 1897) a un Condilarthro está reconocido como un Monachinae (Phocidae, Mammalia), provocando así una revision del material de Phocidae del Mioceno medio de la formacion Paraná (Entre-Rios). Todos los fósiles están vinculados a la misma especie y el material, poco abundante, se compone de algunos dientes aislados, fragmentos de maxilar y de mandibula y tambien de elementos post-craniales, non descriptos (húmerus, radius, coxal, fémur, Mt I posterior). Su descripcion, aquí realizada, y su interpretacion hacen de *Properiptychus argentinus* una forma arcaïca, nitidamente distinta de *Homiphoca capensis* del Plioceno inferior de Africa del Sur. Los dos Monachinae, pertenecen a lineas diferentes y es muy probablemente en la vecindad de *Pristiphoca* del Mioceno medio y Plioceno inferior de Europa meridional, que se debe buscar el origen de *Properiptychus argentinus*. Esta nueva interpretacion del Phocidae argentino, conduce a una discusion sobre la dispersion de los Monachinae en el hemispherio Sur.

Abstract. — *Properiptychus argentinus* (Ameghino 1893), the holotype of which was referred by Ameghino (1893 and 1897) to a Condylarth, is recognized as a Monachinae (Phocidae, Mammalia), provoking thereby a review of the phocid material from the Middle Miocene of the Paraná formation (Entre Rios). All the fossils are related to the same species, and the few specimens are composed of isolated teeth, maxillary and mandible fragments, and also of non described post-cranial elements (humerus, radius, coxal, femur, Mt I posterior). Their description and their interpretation show *Properiptychus argentinus* to be an archaic form, clearly distinct from *Homiphoca capensis* from the Early Pliocene of South Africa. Both Monachinae belong to different lineages and *Pristiphoca* from the Middle Miocene and the Early Pliocene of Southern Europe is probably very close to the origin of *Properiptychus argentinus*. This new interpretation of the argentinian Phocidae leads to a discussion of monachinae dispersal in the southern hemisphere.

C. de Muizon, *Muséum national d'Histoire naturelle, Institut de Paléontologie, LA 12 CNRS, 8, rue Buffon, 75005 Paris.*

M. Bond, *Facultad de Ciencias Naturales y Museo de La Plata, Division de Paleontologia de Vertebrados, Paseo del Bosque, La Plata 1900, Argentine.*

Introduction

Peu abondants dans l'hémisphère Sud, les Phocidae fossiles sont surtout connus actuellement par les riches faunes de Langebaanweg (Afrique du Sud) et de Sacaco (Pliocène du Pérou). Toutefois, les restes provenant de ces gisements furent découverts assez récemment (respectivement Boné & Singer, 1965, et Hoffstetter, 1968), et les premiers Phocidae fossiles (bien qu'ils ne furent pas immédiatement reconnus comme tels) signalés dans les continents australs ne proviennent ni du Pérou ni d'Afrique du Sud, mais du nord-est de l'Argentine dans la province d'Entre Ríos. Ce sont des restes fragmentaires non associés et souvent très incomplets qui proviennent tous des falaises de la rive gauche du rio Paraná, en amont de la ville de Paraná.

Abréviations

IRSNB : Institut Royal des Sciences naturelles de Belgique, Bruxelles, Belgique. MACN : Museo Argentino de Ciencias Naturales « Bernardino Rivadavia », Buenos Aires, Argentine. MER : Museo de Entre Ríos, Paraná, Argentine. MLP : Museo de La Plata, La Plata, Argentine. MNHN : Muséum national d'Histoire naturelle, Paris, France.

I. HISTORIQUE

Les premiers fossiles identifiables comme Phocidae, connus dans la littérature, sont trois dents isolées attribuées, par erreur, par leur descripteur (Ameghino, 1889 : 913, pl. 77, fig. 1-3) à *Apera sanguinaria*. Cette espèce, considérée comme un Créodonte par son auteur (Ameghino, 1886) fut décrite à partir de deux autres dents, précédemment identifiées par Burmeister (1885) comme une forme proche des Felidae, *Eutemnodus americanus*. Ce taxon, prioritaire sur *Apera sanguinaria*, fut rangé parmi les Borhyaenidae par Marshall (1978).

Quelques années plus tard, Ameghino (1893 : 17) cite et décrit brièvement, sans le figurer, un fragment de maxillaire droit portant les alvéoles de C, P^1 et P^2 et la P^3 légèrement usée. La pièce rapportée au genre *Periptychus* Cope est nommée *P. argentinus* et se range donc parmi les Condylarthres. Ameghino (1897) assigne cette espèce à un genre nouveau — *Properiptychus* — qui se différencie de *Periptychus* par la compression de la série dentaire et par la présence d'un assez fort cingulum externe. Reconnu depuis peu par l'un d'entre nous (M. B.) comme appartenant aux Phocidae, *Properiptychus argentinus* fut longtemps considéré, et pour cause, comme un Condylarthre très énigmatique (Winge, 1942).

Vingt-cinq ans plus tard, Frenguelli (1922) attribue à un nouveau Squalodontidae — *Prionodelphis rovereti* — deux dents isolées et rapporte à cette espèce les trois dents d' « *Apera sanguinaria* » décrites et figurées par Ameghino (1889).

Le premier à reconnaître la véritable identité du matériel décrit par Frenguelli (1922) fut Cabrera (1926 : 390). Ce dernier attribue l'une des dents (Frenguelli, 1922,

fig. 1 b-c) à un Pinnipède par comparaison de la pièce à une portion de mandibule portant deux dents jugales (P_3 et P_4), provenant des falaises du río Paraná et conservée dans les collections du Museo Argentino de Ciencias Naturales Bernardino Rivadavia à Buenos Aires. L'autre dent (Frenguelli, 1922, fig. 1 a) appartient de toute évidence à un Cétacé et, bien que l'opinion de Cabrera fut violemment rejetée par Frenguelli (1926), *Prionodelphis rovereti* fut dès lors considéré comme un Phocidae (Khaglievich, 1934 ; Kellogg, 1932 ; King, 1964 ; Hendey & Repenning, 1972).

Hendey & Repenning (1972) attribuèrent au genre *Prionodelphis* un Monachinae provenant du Pliocène inférieur de Langebaanweg en Afrique du Sud : *P. capensis*, une position qui fut entérinée par Ray (1976*a* et *b*), Repenning & Ray (1977) et Repenning *et al.* (1979).

De Muizon & Hendey (1980), jugeant téméraire le rapprochement effectué par Hendey & Repenning (1972), ont désigné un lectotype pour *P. rovereti*. La dent de Cétacé fut choisie, reléguant ainsi parmi les Odontocètes une espèce qui tombera peut-être en synonymie avec l'une des formes connues dans les niveaux du Paraná. L'autre syntype (la dent de Phocidae, Frenguelli, 1922, fig. 1 b-c) fut baptisée de façon informelle Monachinae A, tandis que les trois dents d' « *Apera sanguinaria* » (Frenguelli, 1922, fig. 2), différant du Monachinae A par leur plus grande gracilité, furent considérées comme pouvant appartenir à une autre forme présentant des ressemblances avec *Homiphoca capensis* ; elle fut nommée Monachinae B.

Quatre dents jugales isolées, un fragment de maxillaire avec la P^3 et une portion de mandibule (signalée, non figurée), tel est tout le matériel de Phocidae fossile d'Argentine mentionné dans la littérature. Toutefois, bien qu'aucune pièce n'ait été découverte récemment, les collections de plusieurs musées argentins (Museo Argentino de Ciencias naturales Bernardino Rivadavia, Museo de La Plata, Museo de Entre Rios) renferment un matériel inédit de Phocidae fossile provenant également de la rive gauche du Paraná et très vraisemblablement attribuable à la même espèce que le maxillaire de *Properiptychus argentinus*, que le Monachinae A et peut-être que le Monachinae B. L'attribution des différentes pièces à la même espèce a pu se faire par comparaison avec une forme non décrite très voisine, provenant du Pliocène inférieur de la formation Pisco (Pérou) et dont on connaît des éléments en association.

II. CADRE GÉOLOGIQUE ET ÂGE

Toutes les pièces semblent provenir originellement de la formation Paraná, datée du Miocène moyen ; toutefois, quelques précisions concernant la géologie et l'âge du dépôt semblent nécessaires.

Les falaises du río Paraná près de la ville de Paraná figurent parmi les premières régions qui firent l'objet d'études géologiques en Argentine. Dès 1827, d'Orbigny, au cours de son voyage sur le Paraná (en 1827-1828) y effectuait des observations stratigraphiques et réalisait au pied des fameuses « barrancas » la première collection de fossiles. Le naturaliste reconnut la nature marine des Invertébrés fossiles récoltés et, en 1842, dans une des-

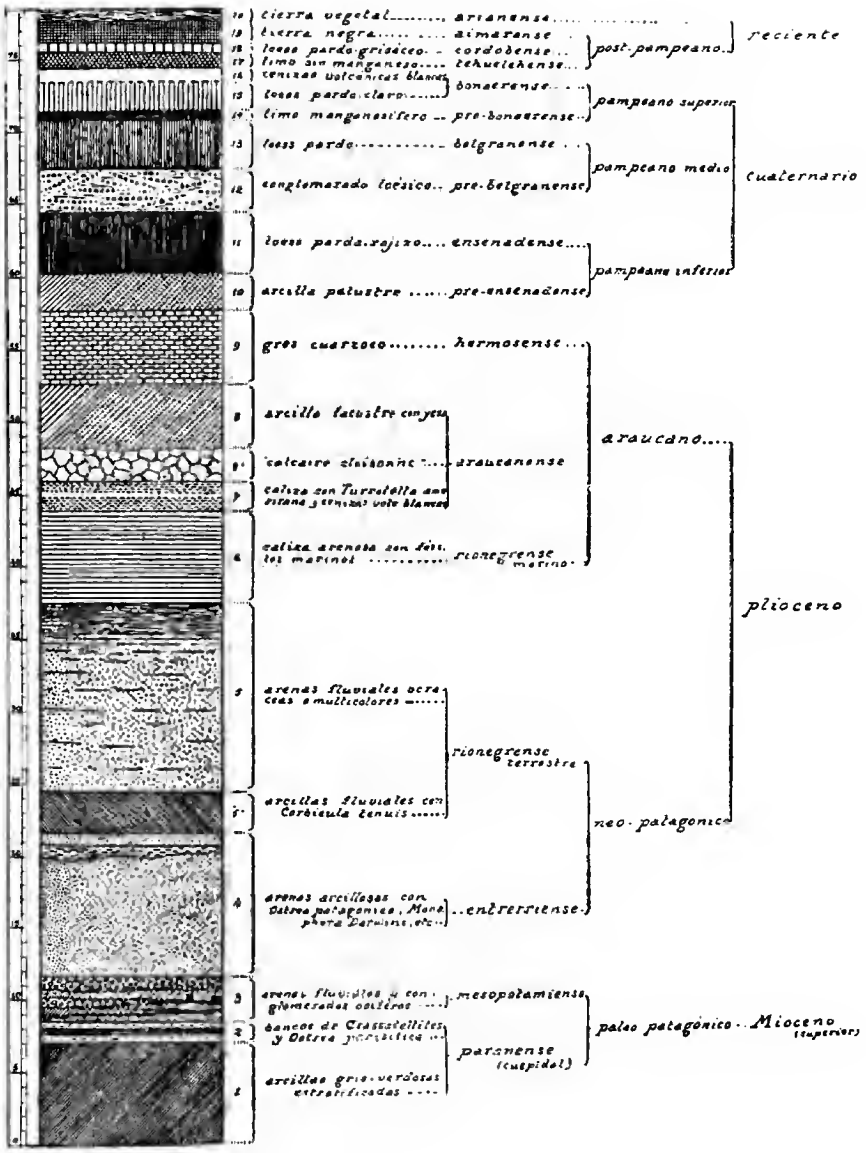


Fig. 1. — Colonna stratigraphique des terrains néogènes et quaternaires de la région de Paraná d'après Frenguelli (1920*b*) (le Miocène court et le Pliocène long utilisés ici par l'auteur doivent être corrigés en fonction de la compréhension actuelle de la limite mio-pliocène).

cription géologique des berges du fleuve, attribua la présence de couches marines à une transgression tertiaire unique.

En 1920 Frenguelli (1920*b*) reprit partiellement l'idée de Doering (1882) qui reconnaissait deux niveaux marins dans les sédiments du Paraná, en définissant plusieurs unités marines séparées par des intercalations continentales ; ce sont respectivement le Paranéen (Miocène supérieur — M.C.), l'Entrerriéen (Pliocène inférieur — P.L.) et le Rionegréen marin (Pliocène supérieur — P.L.) (fig. 1). Ces âges donnés par Frenguelli (1920*b*), qui corres-

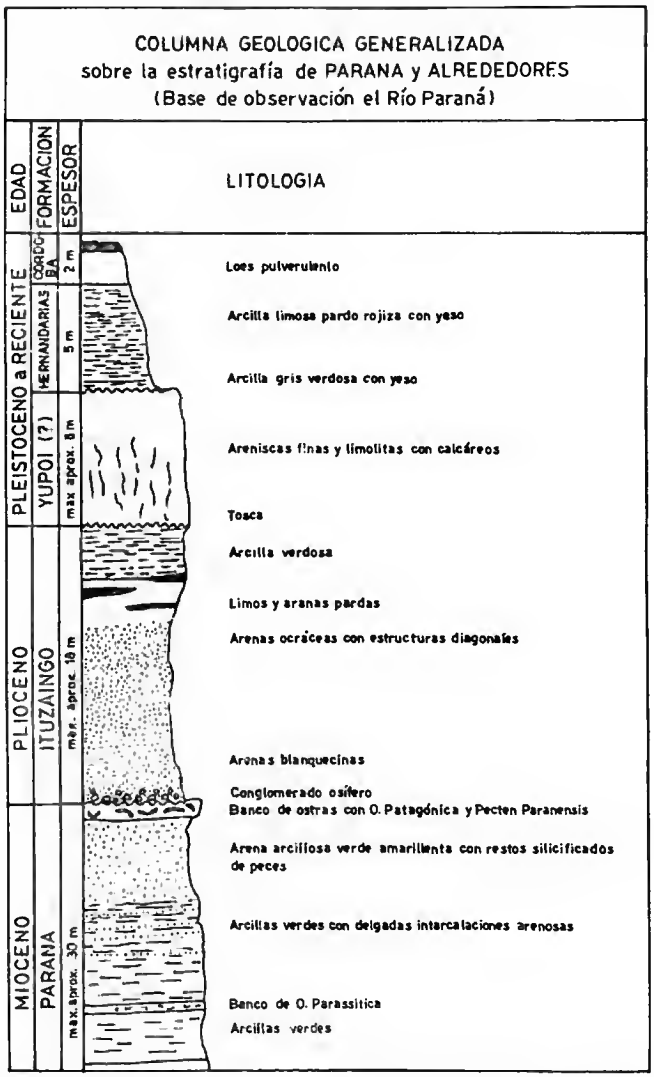


Fig. 2. — Colonne stratigraphique des terrains néogènes et quaternaires de la région de Paraná d'après Aceñolaza (1976) (le Miocène court et le Pliocène long utilisés ici par l'auteur doivent être corrigés en fonction de la compréhension actuelle de la limite mio-pliocène).

pondent à un Miocène « court », doivent être décalés en accord avec le Miocène « long » traditionnellement utilisé dans l'échelle stratigraphique méditerranéenne et défini par Berggren & Van Couvering (1974) et Fahlbusch (1981) ; ce Miocène « long » est utilisé dans ce travail. Dans la discussion qui suit, tous les âges donnés correspondent à un Miocène « court » (et à un Pliocène « long ») en accord avec la conception des auteurs cités ; tous ces âges, non conformes au sens internationalement reconnu, seront affectés du sigle M.C. pour le Miocène « court » et P.L. pour le Pliocène « long ». Selon Frenguelli (1920*b*), le Paranéen serait donc du Miocène moyen, l'Entrerriéen du Miocène supérieur et le Rionegréen du Pliocène inférieur.

Les deux théories sur la géologie des falaises du Paraná connurent un égal succès. Parmi les partisans de celle de d'Orbigny, citons entre autres : Darwin (1838), Bravard (1858), Burmeister (1859), Ameghino (1906), Bonarelli & Nagera (1913), Kantor (1925) et Scartascini (1954, 1959) ; les partisans de celle de Doering et de Frenguelli sont en général plus jeunes : Cordini (1949), Reig (1957), Pascual & Bondesio (1961), Castellanos (1965), Yrigoyen (1969), et Pascual & Odreman Rivas (1973).

La révision récente du problème par Aceñolaza (1976) semble donner une assez bonne interprétation. L'auteur opte pour la première solution et admet une formation marine basale (F. Paraná) sur laquelle repose une formation fluviatile continentale (F. Ituzaïngó) remaniant partiellement les sédiments sous-jacents (fig. 2) ; Aceñolaza interprète comme une seule discordance de ravinement entre ces deux formations la (ou les) discordance angulaire qui constituait l'argument essentiel de la théorie de Frenguelli.

De même que la stratigraphie, l'âge des couches du Paraná fut longtemps discuté ; leur datation s'est presque toujours faite (au moins, avant les travaux de Pascual) sur les Invertébrés. Rapportées d'abord au Tertiaire par d'Orbigny (1842), Darwin (1838) et Bravard (1858), elles furent attribuées au Tertiaire supérieur par Burmeister (1859, 1876) et à l'Oligocène par Doering (1882) et Ameghino (1889, 1893, 1906).

En fait, le problème semble plutôt se poser dans l'assignation d'un âge soit Pliocène (P.L.) soit Miocène (M.C.). Borchert (1901) et Ortmann (1902) suivis par Cordini (1949) et Scartascini (1954) rangent la formation Paraná (*sensu* Aceñolaza, 1976) dans le Pliocène (P.L.) ; cette datation fondée essentiellement sur les Mollusques marins est contestée par Ihering (1907) et Rovereto (1914) qui, en se référant aux mêmes fossiles, donnent un âge miocène (M.C.) à la formation. Cette contradiction semblerait donc démentir la valeur stratigraphique des Mollusques marins dans ce cas précis.

Comme nous l'avons vu, Frenguelli (1920*b*) attribue les formations marines qu'il reconnaît au Miocène (M.C.) et au Pliocène (P.L.), une position qui confirme les conclusions tirées par cet auteur de l'étude de l'ichthyofaune (Frenguelli, 1920*a*).

Plus tard, Rossi de Gracia (1966), s'appuyant sur l'étude des Ostracodes provenant du sommet de la formation Paraná (*sensu* Aceñolaza, 1976) (calcaires à *Ostrea patagonica*), conclut également à un âge miocène (M.C.) entériné par Camacho (1967), Yrigoyen (1969) et Malumián (1970). Pascual (*in* Yrigoyen, 1969), Pascual & Fidalgo (1972) et Pascual & Odreman Rivas (1973), en se fondant sur les faunes de Mammifères, attribuent aux niveaux marins de la formation Paraná un âge miocène supérieur (M.C.) (= Friasien). Par ailleurs, Pascual & Odreman Rivas (1971, 1973) et Scillato Yané (1980) attribuent au Pliocène (P.L.) (Huayquerien et/ou Chasiquéen) les faunes de Vertébrés terrestres provenant des niveaux continentaux (Mésopotamien) superposés à

la formation Paraná. Cette interprétation est en accord avec celle de Herbst (1971), celle de Herbst & Camacho (1970), celle d'Aceñolaza (1976) et celle de Zabert & Herbst (1977) qui placent la formation Paraná dans le Miocène (M.C.) et la formation Ituzaïngó (F. continentale superposée à la formation Paraná) dans le Pliocène (P.L.).

De même Sprechmann (1978), se fondant sur des données paléoclimatologiques, attribue un âge miocène (M.C.) à la formation Camacho de la côte uruguayenne ; or, cette formation est reconnue par l'auteur comme contemporaine de la formation « Entrerriana ».

Si une incertitude subsiste concernant l'âge des faunes de Mammifères terrestres du Mésopotamien, il semble donc que la majorité des auteurs s'accorde à donner un âge miocène (Miocène supérieur M.C.) aux niveaux marins de la formation Paraná (la formation « Entrerriana » représentant peut-être une partie supérieure de la F. Paraná).

Par ailleurs, selon Frenguelli (1920*b* : 68), les restes de Mammifères marins proviennent essentiellement des argiles gris-vert du Paranéen, c'est-à-dire de la base de la série, et la dent de *P. argentinus* décrite par cet auteur (Frenguelli, 1922, fig. 1 b, c) provient également du Paranéen. Quelques restes de Cétacés proviennent du Mésopotamien (*sensu* Frenguelli, 1920*b*), niveau fluviatile à faune mixte immédiatement supérieur au Paranéen et datant, selon l'auteur, du Miocène supérieur (M.C.). Les quelques restes roulés du « Rionegrense terrestre » sont très probablement remaniés des niveaux inférieurs (Paranéen et Mésopotamien). Le troisième niveau marin de Frenguelli (1920*b*), le Rionegréen marin, n'a jamais livré de restes de Cétacés. Les restes de Phocidae des falaises du Paraná proviendraient donc de la base de la série [formation Paraná (*sensu* Aceñolaza, 1976)], c'est-à-dire du Miocène supérieur (M.C.) ; toutefois, il semble que certaines pièces, probablement remaniées des niveaux sous-jacents du Paranéen, aient été trouvées dans le conglomérat ossifère du Mésopotamien, situé à la base de la formation Ituzaïngó.

Toutes ces considérations sur l'âge de la formation Paraná (Paranéen) et de la formation Ituzaïngó (Mésopotamien) doivent être adaptées à la conception actuelle de la limite Mio-Pliocène (à 5,5 MA selon Berggren & Van Couvering, 1974). Le Mésopotamien (Chasiquéen et/ou Huayquerien) doit donc se ranger dans le Miocène supérieur (débordant peut-être un peu sur le Pliocène) et le Paranéen (Friasien) dans le Miocène moyen.

Les restes de Phocidae des berges du Paraná ont donc un âge friasien (Miocène moyen) et leur ancienneté se situe entre 16 et 12 MA selon Marshall *et al.* (1977) et Marshall & Pascual (1978).

La transgression paranéenne formait donc au Miocène un vaste golfe s'étendant probablement jusqu'à Corrientes et dont les eaux semblent avoir été plus chaudes que celles de la côte uruguayo-argentine actuelle. Cela semble attesté par des arguments micropaléontologiques (Bertels & Madeira Falcetta, 1977, et Sprechmann, 1978), paléoichthyologiques (Cione, 1978), paléoherpétologiques (Gasparini, 1968, et Gasparini & Baez, 1975) et paléomammalogiques (Pascual & Odreman Rivas, 1971, et Scillato Yané, 1977). Selon ces auteurs, la mer du Paraná aurait eu des eaux chaudes à tempérées chaudes ; une condition semblable se rencontrait dans la mer du Pisco (Pérou) au Pliocène inférieur, et peut-être au Miocène supérieur (de Muizon, 1981*a*). La présence de Phocidae dans le golfe du Paraná au Miocène confirme l'idée émise par Repenning *et al.* (1979) selon laquelle les Phocidae miocènes présentaient des affinités pour les eaux chaudes, l'adaptation aux températures extrêmes des pôles n'étant qu'un phénomène récent.

III. ÉTUDE SYSTÉMATIQUE

Famille Phocidae

Sous-famille Monachinae

Genre **PROPERIPTYCHUS** Ameghino, 1897

Espèce-type : *P. argentinus* (Ameghino 1893).

Diagnose : Monachinae archaïque de petite taille, au squelette très gracile. Les dents, en général robustes, ont une morphologie tricuspide voisine de celle de *Monachus* ; elles présentent un cingulum puissant qui développe parfois une petite cuspide en arrière de la cuspide accessoire postérieure. La face externe des dents jugales présente une crête ascendante qui unit le cingulum au sommet de la cuspide principale. Les dents sont jointives. L'humérus est plus gracile que celui de tous les Monachinae connus et diffère de celui d'*Homiphoca capensis* par l'absence de foramen entépicondylien. Le radius présente un col très grêle et le métatarsien I est beaucoup plus long que celui d'*Homiphoca capensis*, proportionnellement à la taille de l'animal.

Properiptychus argentinus (Ameghino, 1893)

Periptychus argentinus Ameghino, 1893 : 17.
Properiptychus argentinus : Ameghino, 1897 : 36, fig. 24.
Monachinae A et Monachinae B : de Muizon & Hendey, 1980 : 93.

Holotype : MACN 11593 ; un fragment de maxillaire droit avec la P^3 (figuré, Ameghino, 1897 : 36, fig. 24).

Paratype : MER 685 ; un humérus droit complet dont la crête deltopectorale est légèrement endommagée.

Matériel rapporté : MACN 3538a ; une portion d'hémi-mandibule droite avec P_3 et P_4 (mentionnée par Cabrera, 1926 : 390). MACN 3538b ; une dent jugale supérieure droite (probablement P^4). MACN 3538c ; une dent jugale supérieure droite (probablement P^4). MACN 1562 ; une M^1 droite, une P_4 (?) et une demi-P_4 (?), sans indication d'appartenance au même individu et figurées par Ameghino (1889, pl. 77, fig. 1-3) et Frenguelli (1922, fig. 2). MACN 3677 ; un fémur gauche auquel manque le condyle interne de l'extrémité distale. MACN 3678 ; un radius droit auquel manque l'épiphyse distale. MACN 18652 ; un fémur gauche non épiphysé. MACN 18653 ; une région acétabulaire de coxal gauche. MACN 18654 ; un radius droit auquel manque l'extrémité distale. MACN 18655 ; un humérus droit non épiphysé. MER sans numéro ; un humérus gauche complet. MLP 34-VI-20-7 ; une P^4 (?) figurée par Frenguelli (1922, fig. 1 b, c). MLP 41-XII-13-956 ; un Mt I gauche.

Diagnose de l'espèce : Celle du genre.

Horizon et localité : Tous les fossiles semblent provenir originellement de la formation Paraná qui affleure sur les falaises de la rive gauche du rio Paraná, légèrement en amont de la ville de Paraná (province d'Entre Ríos). Certains sont parfois remaniés dans la base de la formation Ituzaïngó.

Âge : Paranéen (= Friasien) (= Miocène moyen).

Description

1. Les dents, le maxillaire, le dentaire

Les dents attribuées par Ameghino (1889) à *Apera sanguinaria*, bien que rapportées ici à *Properiptychus argentinus*, font l'objet dans ce travail d'une étude séparée.

Les dents jugales supérieures de *P. argentinus* sont robustes et très larges. En vue occlusale, elles montrent une forme semi-circulaire que l'on retrouve en général chez les Monachini (*Monachus*, *Pristiphoca* et *Pliophoca*) et chez *Messiphoca*, une forme probablement à ranger dans cette tribu (de Muizon, 1981*c*). Cette morphologie résulte de la présence d'une étagère cingulaire linguale bien développée et possédant, chez *P. argentinus*, plusieurs cuspides cingulaires sur son pourtour ; celles-ci sont particulièrement marquées sur la P^4 (pl. II ; 1, a et b). Chez *P. argentinus*, on ne note pas de projection postéro-interne des dents jugales supérieures comme il en existe chez *Homiphoca capensis*, dont la disposition est considérée comme une synapomorphie des Lobodontini (de Muizon, 1982*b*). Les prémolaires supérieures présentent une cuspide principale massive flanquée de deux cuspides accessoires, l'une antérieure et l'autre postérieure, s'élevant toutes deux à mi-hauteur de la couronne. Sur la P^3 et les 2 P^4 connues, à la cuspide accessoire postérieure s'adjoint une petite cuspide cingulaire. Celle-ci fut notée chez *Homiphoca capensis* par de Muizon & Hendey (1980) où elle se rencontre sur les P^2 à P^4 ; elle est également présente, mais extrêmement réduite, chez *Messiphoca mauretanica* et *Pliophoca etrusca*, tandis qu'elle est absente chez *Monachus*.

Sur la P^1, une fine crête relie la cuspide principale à une grosse cuspide cingulaire sur le bord interne de la dent. Par ailleurs, celle-ci présente curieusement deux racines grêles et très jointives, variation probablement individuelle qui la fait différer de celle, uniradiculée, des autres Phocidae (pl. II, 7).

La face externe des dents jugales supérieures de *P. argentinus* montre un cingulum bien développé et dont la partie médiane est reliée au sommet de la cuspide principale par une crête ascendante très bien marquée. Celle-ci n'existe ni chez *Monachus*, ni chez *Homiphoca* (ou à peine marquée) mais a été observée chez *Piscophoca* (de Muizon, 1981*b*) et chez *Messiphoca* (de Muizon, 1981*c*).

A l'inverse de ce que l'on observe généralement chez les autres Monachinae, l'émail des dents supérieures de *P. argentinus* présente une surface plissée et rugueuse qui semble caractéristique de cette forme.

Les seules dents inférieures connues sont la P_3 et la P_4 insérées sur la mandibule MACN 3538a (fig. 3 ; pl. IV, 1). Elles sont également très robustes et diffèrent nettement, sur ce point, de celles d'*Homiphoca capensis*. Bien que relativement usées, elles montrent le même schéma que les dents supérieures et sont composées d'une cuspide principale puissante flanquée d'une cuspide accessoire antérieure et d'une postérieure, toutes deux plus puissantes que chez *Monachus* et *Homiphoca*. La couronne des dents est basse et présente des cingulums interne et externe bien développés ; ils sont plus forts que chez *Homiphoca* et chez *Piscophoca* mais proches, en dimension, de ceux observés chez *Monachus*. Malgré l'usure des dents, on note, comme sur les dents supérieures, une crête ascendante qui relie le cingulum externe au sommet de la cuspide principale. Ici encore, cette disposition fait différer *P.*

Fig. 3. — Mandibule de *Properiptychus argentinus* avec P3 et P4 en vue occlusale (MACN 3538a).

argentinus d'*H. capensis*. L'émail des dents inférieures de *P. argentinus* est également très plissoté et rugueux.

Les dents inférieures de *P. argentinus*, bien que jointives et très serrées, ne sont pas implantées obliquement par rapport à l'axe de la série dentaire, une tendance notée chez les Monachini par de Muizon (1982*b*). Toutefois, la P_2 (et son alvéole), sur laquelle ce caractère est en général le plus net, n'est pas conservée sur la pièce et il semble par ailleurs que ce caractère ne soit pas aussi marqué chez tous les Monachini. En fait, bien que d'utilisation délicate pour définir un Monachini, ce caractère fut retenu à cause des difficultés que présentait l'établissement de synapomorphies basées sur le crâne ; la pauvreté du matériel crânien de Monachini fossile est en majeure partie responsable de cette faiblesse.

Les trois dents d' « *Apera sanguinaria* » décrites par Ameghino (1889) et attribuées par Frenguelli (1922) à *Prionodelphis rovereti* sont suffisamment distinctes du reste du matériel pour justifier une étude séparée, bien qu'elles soient ici provisoirement rapportées à *Properiptychus argentinus*. Elles sont plus graciles et plus étroites que les autres dents de *P. argentinus* et ce à un degré qui pourrait justifier leur attribution à une autre forme.

Comme l'ont déjà dit Hendey & Repenning (1972) et de Muizon & Hendey (1980), elles ont des proportions identiques à celles d'*H. capensis*, particulièrement la M^1 qui montre la même morphologie en crochet que l'espèce sud-africaine (pl. II, 5). Toutefois comme les autres dents de *P. argentinus*, les deux prémolaires inférieures présentent sur leur face externe une crête ascendante qui, avec leur émail fortement plissé, les différencie de celles d'*Homiphoca capensis*. Hormis leur proportion, leur morphologie et leur structure sont très voisines de celles des dents de la mandibule MACN 3538a dont elles paraissent représenter une variation plus grêle. Notons enfin que ces deux prémolaires inférieures d' « *Apera sanguinaria* » sont également très semblables à celles de *Piscophoca pacifica*, et paraissent aussi proches de celles de cette espèce que de celles d'*Homiphoca capensis*. Pour ces divers motifs, et malgré la séparation en Monachinae A et B, proposée par de Muizon & Hendey (1980), les dents d' « *Apera sanguinaria* » sont ici considérées, au moins provisoirement, comme une variation individuelle plus gracile que celles de *Properiptychus argentinus* (pl. III, 1).

La principale caractéristique des dents de *P. argentinus* réside donc dans leur robustesse, due en partie au fort développement du cingulum interne. Elles sont, sur ce plan, plus proches de celles de *Pliophoca* et de *Messiphoca* que de celles de *Monachus* et de tous les Lobodontini connus. Leur structure est du type « Monachinae primitif » avec une cuspide principale adjointe d'une cuspide accessoire antérieure et d'une postérieure. Bien que son appartenance aux Monachini soit difficile à établir, *P. argentinus* semble s'en rapprocher par la structure et la disposition de ses dents. Cette idée fut déjà nettement suggérée par de Muizon & Hendey (1980).

La denture de *Properiptychus argentinus* est la plus puissante de toutes celles qui sont connues chez les Phocidae (actuels et fossiles). Elle correspond à une importante activité broyeuse et indique un régime alimentaire composé essentiellement de Mollusques à test mince et de gros Crustacés. De Muizon & Hendey (1980 : 104, 106) ont suggéré que la présence de dents broyeuses représentait chez un Phocidae un état plésiomorphe et ce pour deux raisons : tout d'abord, la capture de Mollusques ou de Crustacés ne nécessite par une nage aussi rapide que celle de Poissons et indique par conséquent une nage moins efficace ; par ailleurs, Mollusques et gros Crustacés sont le plus souvent des animaux très littoraux et benthiques, ce qui indique des prédateurs plus dépendants de la côte que ne le sont les Phocidae mangeurs de Poissons ou d'Invertébrés pélagiques. Ces deux observations représentent des conditions archaïques chez un Phocidae et devaient très probablement caractériser *P. argentinus*.

Le seul fragment de maxillaire connu, celui de l'holotype, apporte peu de renseignements : il montre les alvéoles de la canine à l'extrémité antérieure de celui de la P^4. Ils sont tous jointifs et indiquent une série dentaire très compacte qui s'accorde bien avec celle de la mandibule (MACN 3538a). Celui de la P^2 laisse présager une dent assez courte, comme la P^3. La partie connue du maxillaire de *P. argentinus* semble s'accorder avec un museau court et trapu, probablement voisin dans ses proportions de celui que l'on observe chez *Monachus monachus*.

La mandibule est assez endommagée sur l'échantillon MACN 3538a mais cette mauvaise préservation n'altère pas ses deux caractéristiques essentielles. Bien que légèrement usée sur son bord inférieur, il semble qu'elle ait été relativement gracile et très basse comme chez *Pristiphoca*, mais à l'inverse de celle des autres Monachinae. *Properiptychus argen-*

tinus est sur ce plan très différent d'*Homiphoca capensis* dont la mandibule, haute et robuste, se rapproche plutôt de celle de *Monachus*. L'autre particularité de cette mandibule réside dans sa courbure ; comme chez *Monachus*, la mandibule de *P. argentinus* présente en arrière de la M_1 une nette courbure médiale, observable en vue inférieure. Cette disposition chez *Monachus* est corrélative d'un museau court et d'une forte largeur bizygomatique ; l'une et l'autre de ces dispositions donnent aux mouvements d'adduction de la mandibule une puissance accrue, tant par la diminution du bras de levier (faible longueur du museau) que par le plus grand développement de la musculature adductrice de la mandibule — *temporalis*, *masseter* — (forte largeur bizygomatique). *Properiptychus argentinus* présentait donc, sur ce plan, des caractéristiques probablement voisines de celles de *Monachus*, una supposition corroborée par la grande robustesse des dents chez les deux formes. Le régime alimentaire supposé précédemment nécessite non seulement des dents robustes, mais de puissants mouvements d'adduction de la mandibule, lesquels paraissent confirmés par la morphologie observée chez *P. argentinus*.

2. **Le squelette postcrânien**

a — *L'humérus*

Deux spécimens de cet os sont connus : le paratype (MER 685), une pièce presque complète (pl. V, 1) et un mauvais moulage (fig. 4) dont l'original (non observé) provient vraisemblablement du Museo de Entre Ríos.

Par ses proportions et sa grande gracilité, l'humérus de *Properiptychus argentinus* se rapproche plus de celui des Phocinae que de celui des autres Monachinae. Il est de petite taille et sa longueur rentre dans la variation de celle que l'on observe chez *Homiphoca* ou *Monachus*.

Comme chez *Monotherium aberratum*, le condyle est gros (proportionnellement aux dimensions de l'os) par rapport à celui des autres Monachinae. Sur l'extrémité proximale, le trochiter est moyennement développé mais domine le trochin comme chez *Acrophoca* et *Piscophoca*, et à l'inverse de ce que l'on observe chez *Homiphoca* et les Monachinae actuels. Le trochin est très petit et peu puissant (pour un Phocidae) comme chez *Monotherium* ; cette disposition représente une condition archaïque par rapport à celui, beaucoup plus développé, de *Piscophoca*, d'*Homiphoca* et des Monachinae actuels.

La crête épicondylienne et la surface trochideltoïde dénotent des insertions musculaires faibles. La tubérosité deltoïde est très peu saillante et diffère de celle, en général crochue, des autres Monachinae. La surface trochideltoïde est peu redressée, conséquence de la faible ouverture de l'angle deltopectoral, définie par de Muizon (1981*a* : 44) ; sur ce plan l'humérus de *P. argentinus* est voisin de celui d'*Acrophoca longirostris*. La crête deltopectorale est relativement grêle et son extrémité distale se dirige nettement vers l'épicondyle médial comme chez *Monotherium* ; cette disposition peut également s'observer chez *Piscophoca* et *Acrophoca*, mais de façon beaucoup moins franche et moins constante. L'humérus de *P. argentinus* diffère sur ce plan de ceux des Monachinae actuels et d'*Homiphoca capensis* dont l'extrémité distale de la crête deltopectorale est parallèle à l'allongement de l'os et se situe au milieu de l'extrémité distale (en vue antérieure) de la diaphyse. Cette disposition de la crête deltopectorale est matérialisée par une angulation ou une incurvation latérale, particulièrement bien marquée chez *Homiphoca capensis*.

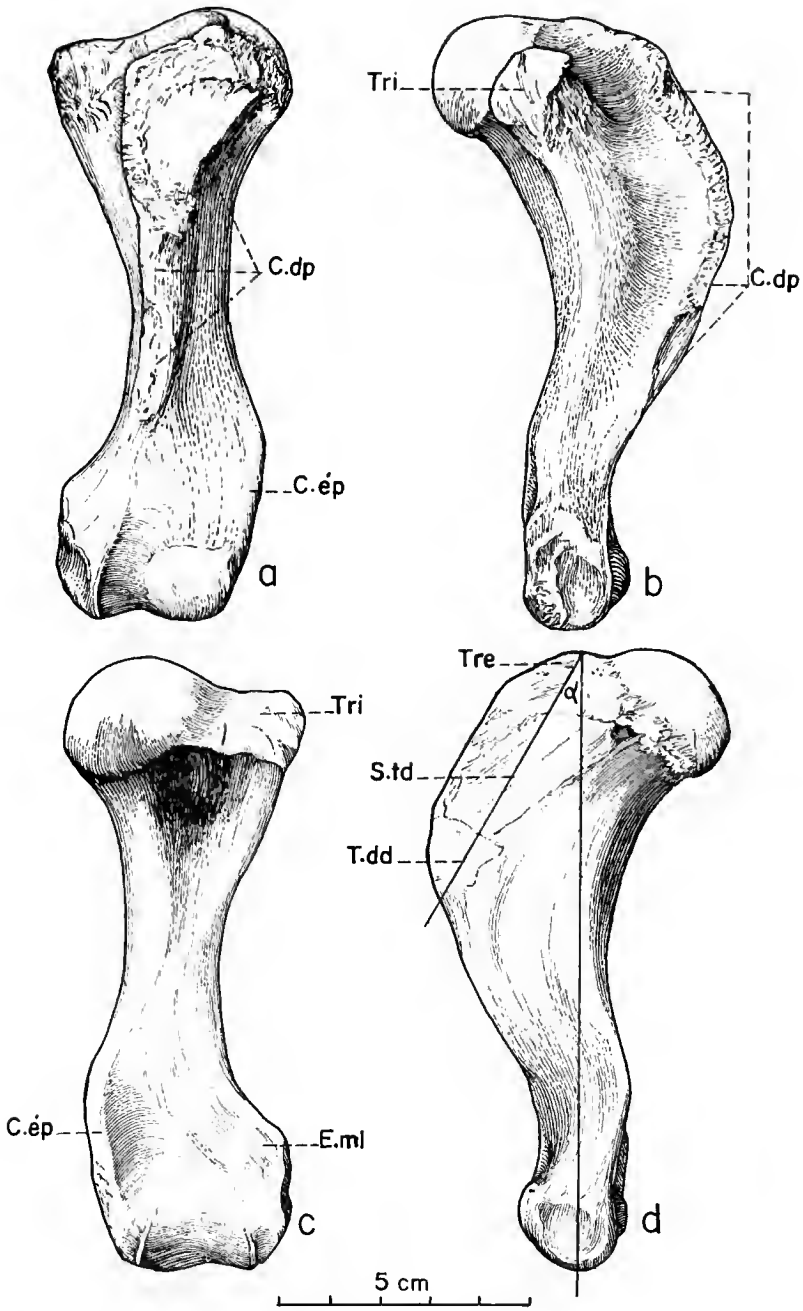


Fig. 4. — Reconstitution de l'humérus gauche de *Properiptychus argentinus* d'après un mauvais moulage d'un humérus complet provenant vraisemblablement du Museo de Entre Ríos : a, vue antérieure ; b, vue médiale ; c, vue postérieure (C.dp, crête deltopectorale ; C.ép, crête épicondylienne ; S.td, surface trochideltoïde ; Tre, trochiter ; Tri, trochin.; α, angle deltopectoral.)

Chez cette espèce, la crête deltopectorale a une forme de W (en vue antérieure, l'os étant couché sur sa face médiale). Chez *Properiptychus argentinus* et *Monotherium aberratum*, la crête deltopectorale a une forme sigmoïde en vue antérieure de l'os, une morphologie qui s'accompagne d'une courbure médiale de l'os et d'un déjet médial de son extrémité distale. Chez *Homiphoca* et les Monachinae actuels, l'humérus apparaît plus droit et semble avoir été comme « redressé », provoquant ainsi une inflexion de la crête deltopectorale. Il semble, en fait, que cette inflexion soit due à une action différente du *pectoralis* (le muscle qui s'y insère) qui aurait modifié la morphologie de l'os (cf. p. 189).

La diaphyse de l'humérus de *P. argentinus* est, en vue postérieure, grêle et élancée, et se rapproche, dans ses proportions, de celle de *Monotherium aberratum*. Sur son extrémité distale, la crête épicondylienne est bien marquée comme chez *Monotherium* et *Piscophoca* mais aussi comme chez *Homiphoca*. Corrélativement, la fosse olécrânienne est relativement profonde pour un Monachinae ; ces deux dispositions constituent apparemment des caractères plésiomorphes pour des Phocidae (de Muizon, 1981*a*). Sur l'épicondyle médial on note l'absence de foramen entépicondylien, une apomorphie (de Muizon, 1982*b*) qui permet de ranger *P. argentinus* parmi les Monachinae. Certains Monachinae fossiles (*Homiphoca* et *Monotherium*) possédant un tel foramen, cette apomorphie n'est donc qu'une tendance synapomorphique des Monachidae ; tous les Phocinae présentent un foramen entépicondylien.

Sur l'épiphyse distale la surface articulaire pour l'ulna est relativement étroite comme chez *Homiphoca* et *Acrophoca* et diffère de celle, beaucoup plus large, que l'on observe chez les Monachinae actuels.

L'humérus de *Properiptychus argentinus* présente donc un cachet archaïque et, hormis l'apomorphie que constitue l'absence de foramen entépicondylien, il apparaît beaucoup moins spécialisé que celui d'*Homiphoca capensis*. Il en est très différent et ne peut en aucun cas appartenir au même genre ni à la même lignée ; il est beaucoup plus proche des humérus d'*Acrophoca* et de *Piscophoca* et, par son aspect archaïque, c'est avec *Monotherium aberratum* qu'il présente la plus forte ressemblance.

b — *Le radius* (pl. VI, 1)

Cet os, connu par deux spécimens (MACN 3678 et MACN 18654), diffère par sa petite taille de celui de tous les autres Monachinae décrits. Les deux pièces sont relativement endommagées et apportent assez peu d'informations.

Dans son allure générale, l'os est proche de celui de *Piscophoca pacifica* bien que nettement plus petit ; le col est grêle et élancé comme chez cette espèce et diffère de ceux d'*Homiphoca capensis* et d'*Acrophoca longirostris*, qui sont beaucoup plus forts. L'épiphyse proximale, bien que mal conservée, montre une facette d'articulation avec l'ulna haute et partiellement séparée de la surface humérale par une échancrure comme chez *Acrophoca*, chez *Messiphoca* et, de façon sporadique, chez *Homiphoca*. La tubérosité bicipitale est située sur le bord médial de l'extrémité proximale de la diaphyse comme chez la plupart des Monachinae fossiles connus et non sur le bord postéro-médial comme chez les Monachinae actuels (cf. King, 1966, et Hendey & Repenning, 1972).

Sur le bord postérieur de la diaphyse, l'insertion du ligament osseux est puissante comme chez *Piscophoca* et *Homiphoca* et, contrairement à ce que l'on observe chez ces deux espèces, la crête du supinator sur le bord antérieur du col est peu développée.

Sur l'extrémité postérieure de la diaphyse, le sillon pour le passage du tendon de l'*abductor pollicis longus* semble avoir été assez bien développé chez MACN 3678, mais beaucoup moins chez MACN 18654.

Les principales caractéristiques du radius de *Properiptychus argentinus* résident donc dans sa petite taille et sa relative gracilité par rapport à ceux des autres Monachinae connus.

c — *Le coxal* (pl. VI, 2)

Le seul exemplaire connu (MACN 18653) est très fragmentaire et peu significatif. Il correspond à un individu légèrement plus grand que les autres os postcrâniens, mais il a été rapporté à *P. argentinus* compte tenu du fait que cette espèce montre une certaine variation individuelle quant à sa taille (dimorphisme sexuel ?). Ses dimensions restent toutefois nettement inférieures à celles qui sont observées chez les autres Monachinae connus.

L'acétabulum est grand et relativement peu profond par rapport à la morphologie globuleuse du condyle proximal du fémur ; toutefois, cette légère discordance ne sort pas de la variation observée chez *H. capensis*. Sur la face ventrale de l'ischion, l'éminence illiopectinée, où s'insère le *psoas minor*, est relativement peu puissante. Cette disposition est semblable à celle qui est observée parfois chez *Homiphoca capensis*, où elle présente une certaine variation (de Muizon & Hendey, 1980, fig. 12).

d — *Le fémur* (fig. 5 et pl. VI, 3 a et 3 b)

De dimensions très petites et de morphologie générale assez gracile pour un Monachinae, le fémur de *P. argentinus* se rapproche plutôt de celui des Phocinae.

Le condyle proximal, globuleux, est légèrement plus grand que la demi-sphère de même diamètre comme chez *Acrophoca*, *Homiphoca*, *Monachus* et les Phocinae ; il diffère, sur ce plan, de celui des Lobodontini actuels et matérialise une disposition archaïque (de Muizon, 1981*a*). Le col, moins marqué que chez les Phucinae, est voisin de celui que l'on observe chez *Homiphoca capensis*. Le trochanter domine légèrement le condyle, une condition plésiomorphe pour un Monachinae. Comme chez les Phocinae et plusieurs Monachinae fossiles (*Homiphoca*, *Acrophoca*, *Monotherium*), la fosse trochantérienne est bien développée, ce qui représente également une plésiomorphie (de Muizon, 1981*a*) et non un caractère distinctif entre Phocinae et Monachinae (King, 1966).

Une des caractéristiques essentielles du fémur de *P. argentinus* réside dans la basculе du trochanter vers l'arrière de l'os (postérieurement) et non vers l'extérieur de l'os (latéralement ou distalement) comme chez les Lobodontini actuels. Cette particularité accentue notablement la torsion de l'extrémité proximale de l'os par rapport à l'extrémité distale. Par ailleurs, on note sur la face postérieure de l'os un gonflement, inhabituel pour un Phocidae, de la surface d'insertion du *pectineus* ainsi que du bourrelet qui forme le bord inférieur de la fosse trochantérienne (fig. 5). Les deux caractères cités précédemment sont vraisemblablement liés et dénotent une action puissante des *obturatorii* et du *pectineus*. Bien que la pauvreté du matériel connu de *P. argentinus* rende délicate une interprétation fonctionnelle, ces deux particularités, qui ne sont jamais aussi accentuées chez les autres Monachinae, paraissent caractéristiques du fémur de *P. argentinus*.

Sur le bord interne, la crête épicondylienne n'est pas (en vue antérieure) régulièrement courbée comme elle l'est chez *Acrophoca* et les Lobodontini actuels ; elle est recti-

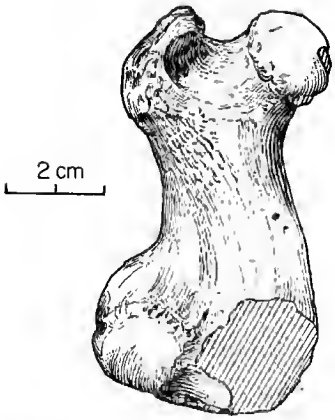


Fig. 5. — Fémur gauche de *Properiptychus argentinus* (MACN 3677) en vue postérieure.

ligne et présente à son extrémité proximale une angulation très nette que l'on retrouve chez *Monachus* et parfois chez *Homiphoca capensis* (de Muizon & Hendey, 1980, fig. 13). Cette disposition se retrouve sur les deux spécimens connus.

Sur l'extrémité distale de la diaphyse, la facette rotulienne est relativement ovale contrairement à celle des Phocinae et d'*Acrophoca* ; elle est voisine en proportions de celle d'*Homiphoca*. La fosse du poplité sur l'épicondyle latéral est bien marquée, comme elle l'est en général chez les Phocinae (King, 1966) et les Monachinae fossiles (de Muizon, 1981*b*). Comme chez tous les Monachinae connus l'insertion du *peroneus longus*, sur l'épicondyle latéral est orientée antéro-latéralement et non latéralement comme chez les Phocinae (cf. de Muizon & Hendey, 1980). L'extrémité proximale du fémur de *Properiptychus argentinus*, bien que le condyle et l'épicondyle médiaux soient brisés, paraît avoir été moins élargie que chez les autres Monachinae et, proportionnellement à la longueur de l'os, se rapprocherait plutôt de celle des Phocinae.

D'une manière générale, le fémur de *P. argentinus* diffère de celui de tous les Monachinae décrits par sa petite taille (il est même plus petit que celui de la plupart des Phocinae actuels) ; par ses proportions il se rapproche de celui de *Monachus* mais présente cependant quelques similitudes avec celui d'*Homiphoca*.

e — *Le Mt I postérieur* (pl. VI, 6)

Seul un métapode du doigt I postérieur droit est connu. C'est, ici encore, un os très grêle. Il diffère nettement de celui d'*Homiphoca capensis*, dont il a presque la même longueur, pour un animal beaucoup plus petit (la différence de taille entre les deux formes devait avoisiner celle qui sépare *Pusa hispida* de *Monachus monachus*). Le Mt I postérieur de *P. argentinus* est même plus long que celui de *Phoca vitulina* tout en étant légèrement plus gracile. Ses proportions sont voisines de celles que l'on observe chez *Piscophoca* ou *Monotherium*.

Sur l'extrémité proximale, la facette d'articulation avec l'entocunéiforme est allongée et peu profonde comme chez les autres Monachinae, tandis qu'elle est grossièrement cir-

culaire et fortement concave chez les Phocinae. Toutefois la facette pour le Mt II possède une orientation proximo-latérale qui la rapproche de la position quasi latérale observée chez les Phocinae. Conséquence de cette disposition chez *P. argentinus*, l'apophyse styloïde (sur le bord plantaire de l'épiphyse proximale) est plus développée que chez les autres Monachinae connus, mais reste toutefois plus petite que chez les Phocinae. Bien que voisine de la condition observée chez les Phocinae, l'épiphyse proximale du Mt I de *P. argentinus* est donc intermédiaire entre la condition observée chez Phocinae et Monachinae actuels.

L'épiphyse distale, relativement longue et étroite, est nettement différente de celle, courte et large, d'*Homiphoca* ; elle est très voisine de celle de *Monotherium*, et à un degré moindre, de celle de *Piscophoca*.

Le Mt I postérieur de *Properiptychus argentinus* est donc bien différent de celui d'*Homiphoca* et parmi les Monachinae connus c'est avec *Monotherium* et son descendant *Piscophoca* (cf. de Muizon, 1981*a*) qu'il présente les plus grandes affinités.

IV. DISCUSSION

Relations phylétiques de *Properiptychus argentinus*

La grande pauvreté du matériel connu de *Properiptychus argentinus* rend très délicate l'analyse des relations phylétiques de cette espèce et l'absence de connaissance du crâne, et particulièrement de la région auditive, rend très aléatoire toute interprétation tribale. De plus, bien que la conspécificité (supposée ici) de toutes les pièces soit extrêmement probable, elle ne pourra être démontrée que par la découverte de spécimens en connexion. Seule, l'absence de foramen entépicondylien sur l'humérus fait de *P. argentinus* un Monachinae incontestable, ce que laissait présager sa localisation géographique.

1. *Properiptychus* et *Homiphoca*

Les dents de Phocidae du Paraná (Entre Ríos, Argentine) décrites par Frenguelli (1922) sous le nom de *Prionodelphis rovereti* furent considérées par Hendey & Repenning (1972) comme étroitement reliées à celles du Phocidae pliocène de Langebaanweg (Province du Cap, Afrique du Sud) qui fut baptisé, en conséquence, « *Prionodelphis* » *capensis*. En reléguant le genre *Prionodelphis* parmi les Cétacés et en attribuant « *P.* » *capensis* au genre *Homiphoca*, de Muizon & Hendey (1980) ont souligné les différences séparant les dents des Phocidae argentin et sud-africain. La révision du matériel décrit (Ameghino, 1889, 1893, 1897, et Frenguelli, 1922) et la présente étude de pièces inédites confirment la séparation des deux formes.

Properiptychus argentinus se distingue d'*Homiphoca capensis* tant par ses dents que par son squelette postcrânien.

Les dents de *P. argentinus* diffèrent par : leur plus grande robustesse ; la présence d'une crête ascendante sur la face externe des dents jugales ; le fort développement des cingulums ; l'absence de projection postéro-interne aux dents supérieures.

Le squelette postcrânien de *P. argentinus* diffère de celui d'*H. capensis* par : sa petite taille ; sa morphologie beaucoup plus grêle ; l'absence de foramen entépicondylien sur l'humérus ; le moindre développement des superstructures osseuses de l'humérus (trochin, trochiter et tubérosité deltoïde) ; la configuration de la crête deltopectorale ; la gracilité du col du radius ; la torsion du trochanter du fémur ; la plus grande longueur relative du Mt I postérieur, et le plus grand développement de son apophyse styloïde.

L'absence de foramen entépicondylien sur l'humérus de *Properiptychus argentinus*, la robustesse des dents jugales et la grande longueur relative du Mt I postérieur sont ici considérées comme les arguments essentiels, justifiant le non-rattachement de l'espèce argentine au genre *Homiphoca*. Cette idée fut clairement suggérée par de Muizon & Hendey (1980), mais il convient de souligner la grande prudence affichée par Hendey & Repenning (1972 ; 92) : « in assigning the Langebaanweg phocid to the genus *Prionodelphis* it is recognized that ressesment may be required when more material of *P. rovereti* is found ».

2. *Properiptychus* et les autres Monachinae

Parmi les Monachinae connus, *Properiptychus* présente des ressemblances avec *Messiphoca*, *Pristiphoca*, *Monachus* et *Pliophoca* en ce qui concerne les dents jugales, et avec *Monotherium*, *Piscophoca* et *Pristiphoca* quant au squelette postcrânien (le cas de *Pristiphoca* sera examiné en fin de paragraphe).

Par leur robustesse les dents jugales de *P. argentinus* sont voisines de celles de *Monachus* et *Pliophoca* ; elles leur ressemblent également par leur structure tricuspide et le développement important des cingulums. Les dents de *Monachus* et de *Pliophoca* sont toutefois moins robustes que certaines dents de *P. argentinus* et ne présentent pas de crête ascendante sur la face externe, comme on en observe chez le Phocidae argentin. Les dents de *Properiptychus argentinus* sont, d'une façon générale, voisines de celles des Monachini (sensu de Muizon, 1982*b*) tandis qu'elles diffèrent de celles, parfois très spécialisées, des Lobodontini et des Mirounginì (sensu de Muizon, 1982*b*).

La P^3 de l'holotype de *P. argentinus* est par ailleurs extrêmement semblable à la P^4 rapportée à *Messiphoca mauretanica* (de Muizon, 1981*c*).

Messiphoca mauretanica est un Monachinae apparemment voisin des Monachini et provenant du Sahélien (Miocène supérieur) d'Algérie. Cette espèce fut décrite (de Muizon, 1981*c*) sur plusieurs éléments postcrâniens appartenant au même individu (humérus, radius, ulna, vertèbres dorsales) ; à cet holotype (ORN 1) fut rapporté un crâne fragmentaire (ORN 2) portant la P^4 gauche. Si le squelette postcrânien de *P. argentinus* diffère notablement de celui de *M. mauretanica*, les dents jugales des deux espèces présentent de grandes affinités. La P^4 de *M. mauretanica* et la P^3 de *P. argentinus* sont semblables par leur morphologie semi-circulaire en vue occlusale, la structure tricuspide, le développement des cingulums, la présence d'une crête ascendante sur la face externe et la forte ridulation. Elles diffèrent toutefois par le plus fort développement et la plus grande hauteur des cuspides accessoires et par la crête ascendante mieux marquée chez *P. argentinus*. Ces similitudes doivent donc inciter à la prudence dans l'association d'éléments isolés et, bien que le crâne fragmentaire ORN 2 soit ici considéré comme appartenant à *Messiphoca mauretanica*, cette attribution reste sujette à la découverte de nouveau matériel de cette espèce.

Monotherium est un Monachinae miocène connu par deux espèces (*M. aberratum* et

M. affine), très probablement trois (*M. ? wymani*)et peut-être quatre (*M. ? gaudini*). Seules les dents de *M. ? gaudini* sont connues (Guiscardi, 1871-1873), elles sont beaucoup moins robustes que celles de *P. argentinus* et beaucoup plus semblables à celles de *Piscophoca* ; par ailleurs, si l'attribution de cette espèce au genre *Monotherium* est possible, elle n'est pas démontrée.

Le squelette postcrânien de *M. aberratum* est très voisin de celui de *P. argentinus* surtout concernant l'humérus. Chez les deux espèces cet os est grêle et montre des insertions musculaires peu puissantes (particulièrement au niveau du trochin) ; le radius présente un col long et étroit et les proportions du Mt I postérieur sont très proches. Cet os, chez *P. argentinus*, apparaît même plus proche, hormis sa taille, de celui de *Monotherium* que de celui de *Piscophoca* (le descendant probable de *Monotherium*). *Properiptychus argentinus* diffère cependant de *Monotherium aberratum* par sa taille beaucoup plus petite et par l'absence de foramen entépicondylien sur l'humérus. En fait, il semble que ces étroites similitudes ne soient que des symplésiomorphies sans valeur phylogénétique, ou des apomorphies acquises par parallélisme comme la longueur du Mt I.

Parmi les Monachinae actuels, il n'en est aucun que l'on puisse rapprocher de façon satisfaisante de *P. argentinus*. Les Lobodontini actuels, hyperspécialisés, n'ont rien de commun avec le Phocidae argentin et même *Monachus*, traditionnellement considéré comme le plus primitif des Monachinae (Ray, 1976*a* et *b* ; Repenning & Ray, 1977) en paraît bien différent. *Properiptychus* présente quelques ressemblances avec *Monachus* au niveau des dents mais en diffère nettement en ce qui concerne l'humérus par : la plus grande gracilité de l'os ; l'aspect fortement sigmoïde de l'os en vue latérale tandis qu'il est droit chez *Monachus* ; le plus faible développement du trochin, le moindre redressement de la crête deltopectorale et sa forme sigmoïde en vue antérieure ; le plus fort développement de la crête épicondylienne.

Par ces caractères, l'humérus de *P. argentinus* semble plus archaïque que celui de *Monachus* dont la diaphyse et le trochin puissant surplombant le trochiter ressemblent plus à ceux des Lobodontini.

En fait, hormis la perte du foramen entépicondylien, l'humérus de *P. argentinus* présente, comme celui de *Monotherium aberratum*, une morphologie peu spécialisée pour un Monachinae, et qui pourrait se définir par les caractères suivants : os grêle ; grande taille et faible convexité du condyle proximal ; trochin réduit et nettement surplombé par le trochiter ; faible redressement de la crête deltopectorale qui a, en vue antérieure, une forme sigmoïde ; diaphyse fortement sigmoïde en vue latérale et présentant une légère courbure médiale, en vue postérieure ; fort développement de la crête épicondylienne ; présence du foramen entépicondylien.

Chez les Monachinae actuels, ces caractères sont, en général, inverses ou différents : os court et trapu ; condyle proximal petit et très globuleux ; trochin très puissant dominant largement le trochiter ; crête épicondylienne en général très redressée (surtout chez les Lobodontini) ; diaphyse en général assez droite en vue latérale et peu arquée en vue postérieure ; crête épicondylienne réduite ; absence de foramen entépicondylien.

D'une façon générale on note, chez les Monachinae archaïques, un humérus relativement grêle tandis que chez les formes spécialisées cet os est toujours très robuste.

On peut définir un indice de robustesse avec les mesures suivantes : l_1 : largeur maximale de l'extrémité proximale ; l_2 : largeur minimale de la diaphyse ; l_3 : largeur maximale de l'extré-

mité distale ; l_4 : largeur maximale de la diaphyse au niveau de la tubérosité deltoïde ; L : longueur maximale de l'os, sans prendre le trochin en considération ; L_1, L_2, L_3 : en vue postérieure ; L_4 : en vue latérale.

L'indice de robustesse R s'écrit alors : $R = \frac{l_1 + l_3 + l_3 + l_4}{L}$.

TABLEAU I. — Mesures des humérus de quelques Monachinae et calcul de leurs indices de robustesse.

Espèce	Individus	l_1	l_2	l_3	l_4	l	L	$R = \frac{\Sigma l}{L}$	Σ R
Properiptychus argentinus	1	58,8	18,4	40,7	40*	157,9	125,9	1,254	
	2°	46	18	42	40	146	120,9	1,207	1,230
Monotherium aberratum	+	51	22	48	51*	172	146	1,202	1,202
Acrophoca longirostris	1	65	26,2	53	57,5	201,7	154	1,309	
	2	64,6	26,4	54,8	51	201,5	155	1,3	
	3	62	27,6	55,5	51,2	196,3	153	1,283	
	4	63	28	53,2	51	195,2	144,6	1,349	
	5	62	26,2	51,7	52,5	192,4	145,7	1,320	
	6	61	30	51	54	196	146	1,34	1,316
Homiphoca capensis	1	62,8	25	51,5	53,5	192,8	136,4	1,413	
	2°	55,1	20,7	45,7	46,5	168	119,4	1,407	1,410
Piscophoca pacifica	1	64,1	28	55,5	63,2	211,2	148,9	1,418	
	2	64,5	30,3	62	63,6	220,4	160,8	1,370	1,394
Monachus monachus		61	26,7	58,4	56	202,1	144	1,403	1,403
Leptonychotes weddelli	1	59,7	26	58,3	58,7	202,7	139,7	1,450	
	2	66	26	59	65	216	154	1,402	1,426
Hydrurga leptonyx	1	75,3	36,6	64,3	76,5	252,7	166	1,522	
	2	78	34	67	90	269	168	1,601	1,561
Lobodon carcinophagus	1	67,4	27	57	63,5	214,9	132,3	1,624	
	2	65	32,7	62	69,7	227,5	124	1,826	
	3	59	29	55	59	202	119	1,697	1,715
Mirounga leonina		130	60	130	133	453	290	1,562	1,562

o, mesures d'après moulage ; +, mesures d'après dessins ; * mesures estimées.

L'indice de robustesse des deux humérus de *P. argentinus* n'est qu'évalué, car sur le spécimen (MER 685) la crête deltopectorale, légèrement endommagée, a dû être reconstituée et les mesures du second humérus ont été prises sur un moulage légèrement déformé. Les deux valeurs obtenues donnent cependant une bonne indication sur la robustesse de l'os. *P. argentinus* se place nettement à l'une des extrémités du graphe (fig. 6) tandis qu'à l'autre se trouvent les Lobodontini avec des indices curieusement étalés. Entre ces deux extrêmes se situent *Monachus* et les autres Monachinae fossiles ; *Piscophoca* et *Homi-*

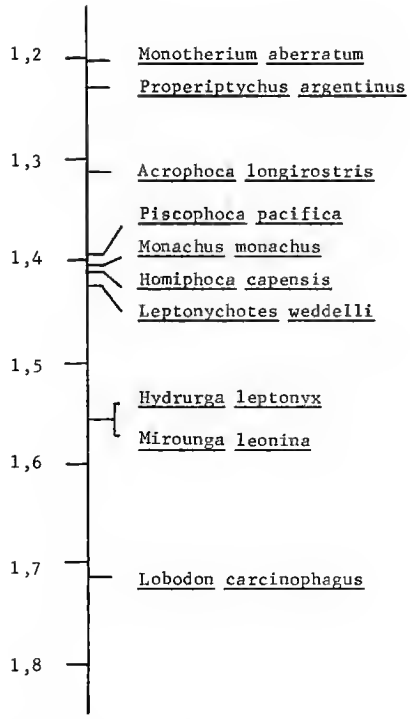


Fig. 6. — Diagramme de dispersion linéaire de l'indice de robustesse de l'humérus chez divers Phocidae actuels et fossiles.

phoca ont des robustesses identiques et, comme on pouvait le prévoir, l'humérus long et étroit d'*Acrophoca* se place entre *Piscophoca* et *Properiptychus*. De même, *Monotherium aberratum* (mesures prises d'après photos, et estimées pour l_4) est très voisin de *P. argentinus* ; toutefois, compte tenu des conditions de mesures, on ne peut considérer l'humérus de *M. aberratum*, malgré sa position sur le graphe, comme plus gracile que celui de *P. argentinus*. Il est intéressant de noter que, dans le sens croissant de l'indice de robustesse, on a :

— des Monachinae miocènes comme *P. argentinus* et *M. aberratum* ;

— un Monachinae pliocène, mais qui a été retrouvé dans des niveaux possiblement miocènes : *Acrophoca* ;

— deux Monachinae pliocènes : *Homiphoca* et *Piscophoca*, et un Monachinae actuel considéré comme archaïque : *Monachus* ;

— trois Lobodontini et un Miroungini actuels.

On note donc une progression de l'indice de robustesse de l'humérus en fonction de l'âge géologique ; parmi les Monachinae actuels, *Monachus*, une forme archaïque, se situe entre les Monachinae pliocènes et les Lobodontini actuels. Le graphe de la figure 6 ne donne

aucune information sur les relations phylétiques ou la classification des Monachinae ; il semble seulement indiquer, chez ces derniers, une tendance apomorphique à l'accroissement de la robustesse de l'humérus.

Properiptychus argentinus présente, par ailleurs, une caractéristique qui le différencie de presque tous les autres Monachinae : la taille de *P. argentinus*, très petite pour un Monachinae, représente une exception dans la sous-famille qu'il partage cependant avec *Pristiphoca*.

Pristiphoca est un petit Monachinae européen connu dans le Miocène moyen de Tchécoslovaquie (*P. vetusta*) (Thenius, 1952) et dans le Pliocène des sables de Montpellier (*P. occitana* Gervais, 1859) ; il présente, outre sa taille, des affinités avec *Properiptychus* au niveau des dents et du squelette postcrânien.

Les dents de *P. argentinus* ressemblent à celles de *Pristiphoca* par : leur robustesse ; la morphologie presque semi-circulaire des dents supérieures en vue occlusale ; la présence, sur les prémolaires, de deux cuspides accessoires, antérieure et postérieure, cette dernière étant flanquée d'une petite cuspide cingulaire (la structure tricuspide présente cependant une certaine variation chez *P. vetusta*) ; le fort développement des cingulums.

Les deux genres diffèrent toutefois par : le cingulum formé de cuspides cingulaires juxtaposées chez *P. argentinus*, tandis qu'il forme une crête régulière chez *Pristiphoca* ; la plus forte ridulation de l'émail chez *Properiptychus* ; la présence d'une crête ascendante sur la face externe des dents jugales, chez *Properiptychus*.

De plus, quoique différent, le fémur de *Properiptychus* s'accorde bien avec celui de *Pristiphoca vetusta* par sa gracilité et sa petite taille. Le Mt I postérieur de *P. vetusta* n'est pas connu, mais on peut avoir une idée de sa longueur si l'on tient compte du fait que, chez les Phocidae, la longueur du Mt III postérieur varie environ de 50 à 70 % par rapport à la longueur du Mt I postérieur. Vu la taille du Mt III postérieur de *P. vetusta* figuré par Thenius (1952), le Mt I postérieur de cette espèce devait avoir des proportions voisines de celles du Mt I postérieur de *Properiptychus* mais différant nettement de celles de *Monachus*, *Pliophoca* et *Homiphoca*, dont les Mt I postérieurs sont courts et trapus.

Parmi les Monachinae décrits, il semble donc que ce soit avec *Pristiphoca* que *Properiptychus argentinus* s'associe le mieux. Bien qu'appartenant à des genres différents, les deux formes présentent de nombreuses ressemblances morphologiques et pourraient appartenir à une même lignée caractérisée entre autres par une taille faible pour des Monachinae. Cependant, *Properiptychus*, comme *Pristiphoca*, est un Monachinae peu spécialisé et il est possible que les ressemblances notées précédemment ne soient que des symplésiomorphies ou des tendances apomorphiques communes à tous les Monachinae (la même remarque a été faite plus haut à propos de *Monotherium aberratum*). Par ailleurs, ces deux genres sont pauvrement connus et la découverte de nouveau matériel en Argentine ou en Europe modifiera peut-être radicalement le rapprochement suggéré ici. En reliant *Properiptychus argentinus* à *Pristiphoca* (*P. vetusta* et *P. occitana*), les auteurs veulent simplement exprimer que le Monachinae argentin se compare favorablement avec le genre *Pristiphoca* tandis qu'il diffère des autres Monachinae ; parmi les formes fossiles il est, entre autres, nettement séparé d'*Homiphoca capensis*, auquel il fut relié par Hendey & Repenning (1972).

Properiptychus argentinus ET LA DISPERSION DES MONACHINAE

L'étude des relations phylétiques de *P. argentinus* nous a montré qu'aucun lien étroit ne pouvait être établi entre cette espèce et *Homiphoca capensis*. En revanche, comme nous l'avons déjà dit, *P. argentinus* est extrêmement semblable à un petit Monachinae du Pliocène du Pérou, baptisé Monachinae I (DE MUIZON & BELLON, 1980, et DE MUIZON, 1981*a*) ; l'étude de cette forme (DE MUIZON, en cours) révèlera certainement des liens de parenté étroits avec le Phocidae argentin. L'étude de *P. argentinus* et de ses relations phylétiques amène à rediscuter les divers schémas donnés de la dispersion des Monachinae dans l'hémisphère Sud.

HENDEY (1972) admet une origine des Monachinae en Europe. Selon cet auteur, ils auraient suivi la côte occidentale de l'Afrique pour traverser l'Atlantique dans sa région la plus étroite en utilisant les courants équatoriaux qui circulent d'est en ouest. Ils auraient ensuite gagné la pointe du Brésil et, de là, auraient migré, les uns vers le nord pour peupler les Caraïbes et Hawaii (passant dans le Pacifique avant l'émersion de l'isthme de Panama) et les autres vers le sud pour peupler l'Argentine, passer le Cap Horn, remonter les côtes pacifiques d'Amérique du Sud et peupler la Californie (*Mirounga angustirostris*). D'Argentine, ils seraient passés en Afrique du Sud avec l'aide de la grande dérive australe (qui circule d'ouest en est), laquelle aurait aidé à la dispersion des Monachinae autour du continent antarctique.

Selon REPENNING *et al.* (1979), les Monachinae, originaires de l'Atlantique Nord (sans plus ample précision), seraient passés dans le Pacifique avant l'émersion de l'isthme de Panama (3,5 MA d'après BERGGREN & HOLLISTER, 1974) et auraient, pour unique voie de migration vers le sud, utilisé la côte occidentale de l'Amérique du Sud. Passant le Cap Horn, ils auraient colonisé la côte argentine et de là auraient gagné l'Afrique du Sud à l'aide de la grande dérive antarctique.

Si l'on considère ces deux schémas, on peut s'interroger sur le fait que ni l'un ni l'autre n'envisage la côte atlantique sud de l'Afrique comme une voie de migration possible, bien que des Monachinae soient connus en Afrique du Sud au même titre qu'en Argentine et qu'au Pérou. En fait, le modèle proposé par HENDEY (1972) calque la dispersion des Monachinae sur la répartition des grands courants océaniques et, selon cet auteur, le courant du Benguella qui longe la côte africaine du sud vers le nord se serait opposé à la migration nord-sud des Monachinae. Toutefois, DE MUIZON & HENDEY (1980) ont émis l'idée que, si les courants transocéaniques devaient avoir un rôle essentiel dans la dispersion des Phocidae, l'influence des courants côtiers devaient être quasiment nulle, ces animaux étant extrêmement dépendants du littoral. Ce point de vue, entériné par DE MUIZON (1981*a*, 1982*a*, 1982*b*) sera retenu ici. Cette idée admise, et compte tenu de la relative abondance de Monachinae dans le Néogène européen, la côte africaine apparaît comme le vecteur de migration le plus facile pour ces Phocidae. Cette possibilité fut envisagée par DE MUIZON & HENDEY (1980) et considérée comme très probable par DE MUIZON (1981*a*, et 1982*b*).

La migration d'Argentine en Afrique du Sud proposée par HENDEY (1972) fut acceptée par REPENNING *et al.* (1979) et par DE MUIZON & HENDEY (1980). DE MUIZON (1981*b*)

n'envisage pas cette éventualité mais, dans un souci de prudence, DE MUIZON (1982*b*) la considère comme possible.

L'étude de *Properiptychus argentinus* et sa comparaison avec *Homiphoca capensis* a montré l'absence de liens étroits entre les deux espèces et semble rejeter la possibilité d'une migration ouest-est, d'Argentine en Afrique du Sud (à l'aide de la grande dérive antarctique), ce qui confirme le schéma proposé par DE MUIZON (1982 *a*). Les côtes sud-américaines, tant est que ouest, et la côte atlantique de l'Afrique auraient toutes trois guidé les Monachinae dans leur migration vers le sud et la grande dérive antarctique ne serait intervenue que dans le peuplement de l'Australie [où sont connus depuis peu des restes de Monachinae du Miocène terminal — Pliocène basal (FORDYCE, *sous presse*)] et dans la dispersion des Monachinae autour du continent antarctique. Ces trois voies de migration vers le sud n'ont apparemment pas communiqué entre elles et il semble que trois populations de Monachinae, au moins, ont migré vers les eaux antarctiques. Cet isolement géographique a pris naissance, au plus tard, au Miocène moyen et, provoquant l'évolution séparée de plusieurs lignées, pourrait expliquer en partie l'hétérogénéité des Monachinae actuels de l'hémisphère Sud.

Properiptychus argentinus (Miocène moyen) est une forme voisine de *Pristiphoca* (Miocène moyen et Pliocène inférieur d'Europe méridionale) et constitue très probablement un genre frère du Monachinae I de Sud-Sacaco. Venant du sud de l'Europe, l'ancêtre du Monachinae I et de *Properiptychus argentinus* aurait donc migré (probablement au début du Miocène moyen, voire au Miocène inférieur) le long de la côte ouest de l'Afrique du Nord et, dans la région équatoriale de l'Atlantique, serait passé en Amérique du Sud. Sur les côtes du Brésil deux populations auraient pris naissance, l'une descendant jusqu'en Argentine et l'autre remontant dans les Caraïbes pour passer dans le Pacifique et peupler la région de Sacaco au Pliocène (peut-être au Miocène supérieur). Il est également possible d'envisager que le Monachinae I de Sacaco ait son origine dans une population migrante issue de *Properiptychus argentinus* et qui, passant le Cap Horn, aurait peuplé le Pérou au Pliocène (peut-être au Miocène terminal). Toutefois, la première possibilité sera retenue ici à cause des apparentes affinités des Monachinae fossiles pour les eaux tempérées chaudes (REPENNING *et al.*, 1979) et de la basse température des eaux antarctiques au Miocène supérieur, période où semble apparaître l'inlandsis connu actuellement (DENTON *et al.*, 1971).

CONCLUSIONS FONCTIONNELLES

Nous avons vu précédemment que l'humérus de *P. argentinus* possédait un indice de robustesse très faible comparé à celui des autres Monachinae (excepté *Monotherium*). La gracilité de l'humérus de *P. argentinus* et la robustesse de celui de *Lobodon* ou d'*Hydrurga* (fig. 6) reflètent la puissance et la fréquence relative des mouvements effectués au niveau de l'épaule, du coude et du poignet. Chez *P. argentinus*, le faible développement du trochin et le faible redressement de la crête deltopectorale correspondent à des mouvements peu puissants de l'articulation scapulo-humérale. Chez les Lobodontini actuels, le trochin, très développé, et la crête deltopectorale, extrêmement redressée, indiquent en revanche une grande puissance du *sub-scapularis* de l'*atlantoscapularis*, de l'*humerotrapezius* et du

deltoïdeus. Ces muscles interviennent dans l'abduction et l'extension de l'humérus, deux mouvements entrant en action lors de l'utilisation du membre antérieur comme frein chez les Phocidae (cf. DE MUIZON, 1981*a*). Chez *P. argentinus*, ce type de mouvement était donc plus faible et moins efficace que chez les Monachinae actuels ; en revanche, la courbure médiale de l'humérus (en vue antérieure) et le déjet médial de l'extrémité distale de la crête deltopectorale semblent indiquer une plus forte traction du *pectoralis*, ce muscle est un important adducteur de l'humérus qui joint la face ventrale des sternèbres à l'extrémité de la crête deltopectorale. L'orientation médiale de celle-ci ainsi que la courbure de l'humérus semblent indiquer chez *P. argentinus* un usage des pectorales relativement plus important que chez *Homiphoca* et les Monachinae actuels. Chez les Phocidae, l'adduction de l'humérus est un mouvement qui intervient de façon essentielle lors de l'utilisation propulsive du membre antérieur. Celle-ci se réalise chez les Phocidae comme chez les Otariidae par un battement du membre vers l'arrière et vers le bas, qui se traduit au niveau de l'articulation scapulo-humérale par une flexion et une adduction de l'humérus sur la scapula (DE MUIZON, 1981*a*). La configuration de l'insertion du *pectoralis* chez *P. argentinus* semble donc indiquer une plus grande utilisation du membre antérieur dans la propulsion que chez les autres Monachinae.

Chez les Phocidae les membres postérieurs et la région lombaire de la colonne vertébrale assurent l'essentiel des fonctions de propulsion. Cependant, les membres antérieurs, dont le rôle est surtout directionnel et équilibrateur, peuvent être utilisés comme organes accessoires de propulsion. Cette utilisation, qui semble représenter un caractère plésiomorphe (DE MUIZON, 1981*a*), était très vraisemblablement plus importante chez les Monachinae fossiles du Miocène et du Pliocène que chez les formes actuelles, particulièrement les Lobodontini (DE MUIZON, 1981*a*). *P. argentinus* serait donc, pour ce caractère, le plus archaïque des Monachinae connus.

CONCLUSION

Properiptychus argentinus est un Monachinae qui présente une association de caractères archaïques et spécialisés. La robustesse et la structure, la gracilité de l'humérus et du fémur, sont autant de plésiomorphies qui s'opposent aux apomorphies que représentent la perte du foramen entépicondylien et la longueur des métapodes (ces deux derniers caractères sont en fait des tendances apomorphiques des Monachinae).

Toutes les tentatives d'interprétation faites dans ce travail restent assez spéculatives, il est vrai, compte tenu de la pauvreté du matériel et l'attribution à *Properiptychus argentinus* de tous les spécimens ici décrits, si elle est très probable, n'est pas démontrée. Toutefois, la bonne connaissance des Monachinae fossiles d'Afrique du Sud et du Pérou a facilité la comparaison du matériel qui apporte quelques données nouvelles.

Properiptychus argentinus est un petit Monachinae archaïque du Miocène supérieur bien différent d'*Homiphoca capensis* avec lequel il ne présente aucun lien étroit. Il est, en revanche, très semblable au Monachinae 1 de Sud-Sacaco dont il représente probablement un genre frère. Comme cette forme, il montre de grandes similitudes avec le genre

Pristiphoca du Miocène moyen et du Pliocène inférieur d'Europe méridionale. Cette interprétation semble rendre caduque l'hypothèse selon laquelle les Monachinae d'Afrique du Sud auraient leur origine dans une population argentine ayant migré vers l'est à l'aide de la grande dérive antarctique.

Mesures de *Properiptychus argentinus* (en mm)

Holotype (MACN 11593)		
P^3 :	longueur maximale de la couronne :	11,5
	largeur maximale de la couronne :	8
	hauteur linguale maximale de la couronne :	7,3
Matériel rapporté à *Properiptychus argentinus*		
P^4 (MACN 3538b) :	longueur maximale de la couronne	14,5
	largeur maximale de la couronne :	10,6
	hauteur linguale maximale de la couronne :	8,8
P^1 (?) (MACN 3538c) :	longueur maximale de la couronne :	9,5
	largeur maximale de la couronne :	7,7
	hauteur linguale maximale de la couronne :	5,5
Mandibule (MACN 3538a)		
P_3 :	longueur maximale de la couronne :	12,9
	largeur maximale de la couronne :	7,2
	hauteur maximale linguale de la couronne :	7
P_4 :	longueur maximale de la couronne :	12,8
	largeur maximale de la couronne :	7
	hauteur linguale maximale de la couronne :	7
Paratype : humérus (MER 685)		
	longueur maximale :	125,9
	largeur de l'épiphyse proximale :	58,8
	largeur de l'épiphyse distale :	40,7
	angle deltopectoral (α) :	29°
Fémur (MACN 18654)		
	longueur latérale (trochanter — condyle latéral) :	76
	largeur de l'extrémité proximale :	44
	largeur minimale de la diaphyse	36,5
Métapode I postérieur (MLP 41-XII-13-956)		
	longueur maximale :	92
	largeur maximale de l'extrémité proximale :	20,4
	largeur maximale de l'extrémité distale :	13,2

Remerciements

Nous tenons à remercier tout particulièrement les Prs J. F. Bonaparte et R. Pascual qui nous ont apporté toutes les facilités pour mener à bien ce travail. Nos remerciements vont éga-

lement à M. F. Soria pour sa collaboration aussi active qu'efficace. Les dessins sont dus à la plume de J. Chapart, les photos sont de D. Serrette et de l'un des auteurs (C. M.). Ce travail a été réalisé sous les auspices de l'Institut de Paléontologie du Muséum national d'Histoire naturelle à Paris (France) et de la « Division Paleontologia Vertebrados » du « Museo de La Plata » (Argentine).

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Aceñolaza, F. G., 1976. — Consideraciones bioestratigraficas sobre el Terciario marino de Paraná y alrededores. *Acta geol. Lilloana*, Tucumán, **23** (2) : 91-108.

Ameghino, F., 1886. — Contribucion al conocimiento de los mamíferos fósiles de los terrenos antiguos terciaros del Paraná. *Boln Acad. nac. Cienc., Córdoba*, **9** : 1-228.

— 1889. — Contribucion al conocimiento de los mamíferos fósiles de la República Argentina. *Actas Acad. nac. Cienc. Córdoba*, **6** : 129-167.

— 1893. — Les Mammifères fossiles de la Patagonie australe. *Revue scient*, Paris, **51** : 13-17.

— 1897. — Mammifères crétacés de l'Argentine. Deuxième contribution à la connaissance de la faune mammalogique des couches à *Pyrotherium*. *Boln Inst. geogr. argent*, Buenos Aires, **18** : 1-117.

— 1906. — Les formations sédimentaires du Crétacé supérieur et du Tertiaire de Patagonie, avec un parallèle entre leurs faunes mammalogiques et celles de l'ancien continent. *An. Mus. nac. Hist. nat. B. Aires*, **15** : 1-568.

Berggren, W. A., & C. D. Hollister, 1974. — Paleogeography, paleobiogeography and the history of circulation in the Atlantic Ocean. *In* : W. W. Hay, Ed. Studies in paleogeography. *Spec. Publs Soc. econ. Palaeont. Miner., Tulsa*, **20** : 126-186.

Berggren, W. A., & J. A. Van Couvering, 1974. — The Late Neogene. Biostratigraphy, geochronology and paleoclimatology of the last 15 million years in marine and continental sequence. *Palaeogeogr., Palaeoclimat., Palaeoecol.*, Amsterdam, **16** : 1-216.

Bertels, A., & M. Madeira-Falcetta, 1977. — Neogene Foraminifera — South Atlantic. *In* : F. Swain, Ed., Stratigraphic Micropaleontology of Atlantic Basin and Borderland : 441-466.

Bonarelli, G., & J. J. Nagera, 1913. — Informe preliminar sobre un viaje de investigacion geológica a las provincias de Entre Rios y Corrientes. *Boln Dir. gen. Minas Geol. Hidrol., B. Aires*, **5** : 1-6.

Bondesio, P., J. H. Laza, G. J. Scillato Yané, E. P. Tonni, & M. G. Vucetich, 1980. — Estado actual del conocimiento de los vertebrados de la Formacion Arroyo Chasico (Plioceno temprano) de la provincia de Buenos Aires. *Actas II Congr. Argent. Paleont. y Bioestratigr., I Congr. latinoamer. Paleont.*, Buenos Aires 1978, **3** : 319-328.

Bone, E. L., & R. Singer, 1965. — *Hipparion* from Langebaanweg, Cape Province, and a revision of the genus in Africa. *Ann. S. Afr. Mus.*, Capetown, **48** : 273-397.

Borchert, A., 1901. — Die Molluskenfauna und das Alter der Paraná — Stufe. *Neues Jb. Miner. Geol. Paläont. Sonderb.*, Stuttgart, **14** : 171-245.

Bravard, A., 1858. — Monografia de los terrenos terciarios de las cercanias del Paraná. Réimpression en 1884, *in* : *An. Mus. nac. Hist. nat. B. Aires*, **3** : 45-94.

Burmeister, G., 1859. — Ueber die Tertiaerformation von Paraná. *Z. dt. geol. Ges.*, Berlin, **10** : 423-432.

— 1876. — Description physique de la République Argentine d'après des observations personnelles et étrangères. Traduit de l'allemand par E. Maupas ; F. Savy, Éd., Paris.

— 1885. — Examen crítico de los mamíferos y reptiles fósiles denominados por D. Augusto Bravard y mencionados en su obra precedente. *An. Mus. nac. B. Aires*, **3** : 95-174.

Cabrera, A., 1926. — Cetáceos fósiles del Museo de La Plata. *Revta. Mus. La Plata*, **29** : 363-411.

Camacho, H., 1967. — Las transgressiones del Cretácico superior y Terciario de la Argentina. *Revta. Soc. geol. argent.*, Buenos Aires, **22** (4) : 253-280.

Castellanos, A., 1965. — Estudio fisiografico de la provincia de Corrientes. *Publnes Inst. Fisiogr. Geol. Univ. nac. Litoral*, Rosario, **49** : 1-122.

Cione, A. L., 1978. — Aportes paleoictiológicas al conocimiento de la evolucion de las paleotemperaturas en el area austral de America del Sur durante el Cenozoico. Aspectos zoogeograficos y ecologicos conexos. *Ameghiniana*, Buenos Aires, **15** (1-2) : 183-208.

Cordini, I. R., 1949. — Contribucion al conocimiento de la geologia economica de Entre Ríos. *An. Dir. nac. Min. B. Aires*, **2** : 1-78.

Darwin, C., 1838. — Geological notes made during a survey of east and west coast of South America in the years 1832, 1833, 1834 and 1835 ; with an account of a transverse section of the Cordilleras of the Andes between Valparaiso and Mendoza. *Proc. geol. Soc.*, Lond., **2** : 210-212.

Denton, G. H., R. L. Armstrong, & M. Stuiver, 1971. — The Late Cenozoic glacial history of Antarctica. *In* : K. K. Turekian, ed., The late Cenozoic glacial ages. Yale Univ. Press, New Haven. P. 267-306.

Doering, A., 1882. — Informe oficial de la Comisión cientifica agregada al Estado Mayor General de la expedicion al Río Negro (Patagonia) realizada en los meses de abril, mayo, y junio de 1879 bajo las ordenes del general D. Julio Argentino Roca. Ed. Oficial, Buenos Aires, **3** : 300-490.

Fahlbusch, V., 1981. — Miozän und Pliozän — Was ist was ? Zur Gliederung des Jungtertiärs in Süddeutschland. *Mitt. Bayer. Staatsslg. Paläont. hist. Geol.*, München, **21** : 121-127.

Fordyce, R. E., sous presse. — Australasia's higher marine Vertebrate record. *In* : P. V. Rich, & E. M. Thompson, eds., The fossil Vertebrate record of Australia. Clayton.

Frenguelli, J., 1920*a*. — Notas sobre la ictiofauna terciaria de Entre Ríos. *Boln Acad. nac. Cienc. Córdoba*, **24** : 1-26.

— 1920*b*. — Contribucion al conocimiento de la geologia de Entre Rios. *Boln Acad. nac. Cienc. Córdoba*, **24** : 55-256.

— 1922. — *Prionodelphis rovereti*, un representante de la familia « Squalodontidae » en el Paranense superior de Entre Ríos. *Boln Acad. nac. Cienc. Córdoba*, **25** : 491-500.

— 1926. — El Entrerriense de Golfo nuevo en el Chubut. *Boln Acad. nac. Cienc. Córdoba*, **29** : 191-270.

Gasparini, Z. B. de, 1968. — Nuevos restos de *Ramphostomopsis neoganes* (Burm.) Rusconi, 1933 (Reptilia, Crocodilia) del « Mesopotamiense » (Plioceno medio-superior) de Argentina. *Ameghiniana*, Buenos Aires, **5** (8) : 289-311.

Gasparini, Z. B. de, & A. M. Baez, 1975. — Aportes al conocimiento de la herpetofauna Terciaria de la Argentina. *Act. I Congr. Arg. Paleont. y Bioestrat.*, Tucumán, **2** : 377-416.

Gervais, P., 1859. — Zoologie et Paléontologie Françaises. 2e éd., Arthus Bertrand éd., Paris.

Guiscardi, G., 1871-1873. — Sopra un teschio fossile di foca. *Atti. Accad. Sci. fis. mat. Napoli*, **5** : 1-8.

Hendey, Q. B., 1972. — The evolution and dispersal of the Monachinae (Mammalia, Pinnipedia). *Ann. S. Afr. Mus.*, Capetown, **59** : 99-113.

Hendey, Q. B., & C. A. Repenning, 1972. — A Pliocene phocid from South Africa. *Ann. S. Afr. Mus.*, Capetown, **59** : 71-98.

HERBST, R., 1971. — Esquema estratigráfico de la Provincia de Corrientes, República Argentina. *Revta Asoc. geol. argent.*, Buenos Aires, **26** : 221-243.

HERBST, R., & H. H. CAMACHO, 1970. — Sobre el hallazgo de Bivalvos dulceacuicolas (Unionidae y Mycetopodidae) en el Terciario superior de Empedrado, Corrientes, Argentina. *Ameghiniana*, Buenos Aires, **7** : 335-340.

HOFFSTETTER, R., 1968. — Un gisement de Vertébrés tertiaires à Sacaco (Sud-Pérou) témoin d'une migration de faunes australes au long de la côte occidentale sud-américaine. *C. r. hebd. Séanc. Acad. Sci., Paris*, **267**, D : 1273-1276.

IHERING, H. VON, 1907. — Les mollusques fossiles du Tertiaire et du Crétacé supérieur de l'Argentine. *An. Mus. nac. Hist. nat. B. Aires*, 3, **7** : 1-611.

KANTOR, M., 1925. — La Formacion Entrerriana. *An. Soc. cient. argent.*, Buenos Aires, **100** : 33-66.

KELLOGG, R., 1942. — Tertiary, Quaternary and recent marine mammals of South America and the West Indies. *Proc. 8th Amer. scient. Congr.*, Washington, **3** : 445-473.

KING, J., 1964. — Seals of the World. London (British Museum Natural History) : 1-154.

— 1966. — Relationships of the hooded and elephant seals (genera *Cystophora* and *Mirounga*). *J. Zool., Lond.*, **148** : 385-398.

KRAGLIEVICH, L., 1934. — La antiguedad pliocena de la faunas de Monte Hermoso y Chapadmalal deducida de su comparacion con las que le precedieron y succedieron. *Siglo ilustrado*, Montevideo, **938** : 1-136.

MALUMIAN, N., 1970. — Bioestratigrafia del Terciario marino del subsuelo de la Provincia de Buenos Aires (Argentina). *Ameghiniana*, Buenos Aires, **7** : 173-204.

MARSHALL, L. G., 1978. — Evolution of the Borhyaenidae, extinct South American predaceous marsupials. *Univ. Calif. Publs geol. Sci.*, Berkeley, **117** : 1-89.

MARSHALL, L. G., & R. PASCUAL, 1978. — Una exala, temporal radiometrica preliminar de las edades Mamífero del Cenozoico medio y tardio sud-americano. *Obra cincuen. Mus. La Plata*, **5** : 11-28.

MARSHALL, L. G., R. PASCUAL, G. H. CURTIS, & R. E. DRAKE, 1977. — South American geochronology : radiometric time scale for Middle to Late Tertiary Mammal-bearing horizons in Patagonia. *Science, N. Y.*, **195** : 1325-1328.

MUIZON, CH. DE, 1981*a*. — Les Vertébrés fossiles de la formation Pisco (Pérou). Première partie : deux nouveaux Monachinae (Phocidae, Mammalia) du Pliocène de Sud-Sacaco. *Trav. Inst. fr. Étud. andines*, **22** : 1-161. *In* : Rech. sur Gdes Civ. mém. n° 6, Paris, A.D.P.F., Éd.

— 1981*b*. — Le grand voyage des Phoques. *La Recherche*, Paris, **12** : 750-752.

— 1981*c*. — Premier signalement de Monachinae (Phocidae, Mammalia) dans le Sahélien (Miocène supérieur) d'Oran (Algérie). *Palaeovertebrata*, Montpellier, **11** (5) : 181-194.

— 1982*a*. — La dispersion des Monachinae (Phocidae, Mammalia) dans l'Hémisphère Sud. 9e Réun. Ann. Sci. Terre, Paris. Société géologique de France, éd.

— 1982*b*. — Phocid phylogeny and dispersal. *Ann. S. Afr. Mus.*, Capetown, **89** : 175-213.

MUIZON, CH. DE, & H. BELLON, 1980. — L'âge mio-pliocène de la formation Pisco (Pérou). *C. r. hebd. Séanc. Acad. Sci., Paris*, **290**, D : 1063-1066.

MUIZON, CH. DE, & Q. B. HENDEY, 1980. — Late Tertiary Seals of the South Atlantic Ocean. *Ann. S. Afr. Mus.* Capetown, **82** : 91-128.

ORBIGNY, A. D', 1842. — Voyage dans l'Amérique Méridionale (le Brésil, la République orientale de l'Uruguay, la République Argentine, la Patagonie, la République du Chili, la République de Bolivie, la République du Pérou) exécuté pendant les années 1826, 1827, 1828, 1829, 1830, 1831, 1832 et 1833. P. Bertrand, éd., Paris, **3** (3) : 1-290, suppl. : 1-42.

Ortmann, A., 1902. — Tertiary invertebrates. Reports of the Princeton Univ. Expedition to Patagonia. Princeton Univ. Press. **4** : 45-332.

Pascual, R., & P. Bondesio, 1961. — Un nuevo Cardiatheriinae (Rodentia, Hydrochoeridae) de la formacion Monte Hermoso (Plioceno superior) de la Provincia de Buenos Aires. Algunas consideraciones sobre la evolucion morfológica de los molariformes de los Cardiatheriinae. *Ameghiniana*, Buenos Aires, **2** (6) : 93-111.

Pascual, R., & F. Fidalgo, 1972. — The problem of the Plio-Pleistocene boundary in Argentine (South America). Coll. Papers, II Intern. Coll. on the problem, The boundary between Neogene and Quaternary, Moscow, **2** : 205-262.

Pascual, R., & O. Odreman-Rivas, 1971. — Evolucion de las comunidades de los Vertebrados del Terciario argentino. Los aspectos paleozoogeográficos y paleoclimatológicos relacionados. *Ameghiniana*, Buenos Aires, **8** : 372-412.

Pascual, R., & O. Odreman-Rivas, 1973. — Las unidades estratigraficas del Terciario portadoras de mamíferos. Su distribucion y sus relaciones con los acontecimientos diastroficos. *Act. V Congr. geol. argent.*, Tucumán, **3** : 293-338.

Ray, C. E., 1976*a*. — *Phoca wymani* and other Tertiary seals (Mammalia, Phocidae) described from the eastern seabord of North America. *Smithson. Contr. Paleobiol.*, Washington, **28** : 1-36.

— 1976*b*. — Geography of Phocid evolution. *Syst. Zool.*, Washington, **25** : 391-406.

Reig, O., 1957. — Sobre la posicion sistematica de « *Zigolestes paronensis* » Amegh. y de « *Zigolestes entrerrinanus* » Amegh. con una consideracion de la edad y correlacion del « Mesopotamiense ». *Holmbergia*, Buenos Aires, **5** : 209-225.

Repenning, C. A., & C. E. Ray, 1977. — The origin of the Hawaïan monk seal. *Proc. biol. Soc. Wash.*, **89** : 667-688.

Repenning, C. A., C. E. Ray, & D. Grigorescu, 1979. — Pinniped biogeography. *In* : J. Gray, & A. J. Boucot, eds, Historical biogeography, plate tectonics and the changing environment. Oregon State Univ. Press.

Rossi de Gracia, E., 1966. — Contribucion al conocimiento de los Ostracodos de la Argentina. I. Formacion Entre Ríos de Victoria, Provincia de Entre Ríos. *Revta Asoc. geol. argent.*, Buenos Aires, **213** : 194-208.

Rovereto, C., 1914. — Los estratos araucanos y sus fósiles. *An. Mus. nac. Hist. nat. B. Aires*, **25** : 1-247.

Scartascini, B., 1954. — El limite Plio-Pleistoceno de la Provincia de Entre Rios. *Revta Mus. munic. Cienc. nat. Mar del Plata*, **1** : 55-77.

— 1959. — El banco calcareo organogeno de Paraná. *Commun. Mus. argent. Cienc. nat. Bernardino Rivadavia, Inst. nac. Invest. Cienc. nat.*, Buenos Aires, **1** (16) : 3-12.

Scillato Yané, G. J., 1977. — Octomylodoninae : nueva subfamilia de Mylodontidae (Edentata, Tardigrada). Descripcion del craneo y mandibule de *Octomylodon robertoscagliai* n. sp. procedentes de la Formacion Arroyo Chasico (Edad Chasiquense, Plioceno temprano) del Sur de la Provincia de Buenos Aires (Argentina). Algunas consideraciones filogenéticas y sistematicas sobre los Mylodontidae. *Publnes Mus. munic. Cienc. nat. tradic. Mar del Plata*, **2** (5) : 123-140.

— 1980. — Catálogo de los Dasypodidae fósiles (Mammalia, Edentata) de la República argentina. *Actas II Congr. Argent. Paleont. y Bioestrat. y I Congr. Latinoamer. Paleont.*, Buenos Aires 1978, **3** : 7-36.

Sprechmann, P., 1980. — Paleontologia, paleoecologia y paleogeografia de la region costera del Uruguay durante el Neogeno y Cuaternario. *Actas II Congr. Argent. Paleont. y Bioestrat. y I Congr. Latinoamer. Paleont.*, Buenos Aires 1978, **7** : 335-340.

Thenius, E., 1952. — Die Saugetierfauna aus dem Torton von Neuforfan der Marsch (ČSR). *Neues Jb. Geol. Paläont.*, Stuttgart, Abh. **96** (1) : 27-136.

WINGE, H., 1942. — The interrelationships of the Mammalian genera. Traduit du danois par E. Deichmann & G. M. Allen. **3** : 1-303, Jensen, A. D., R. Spärck, & H. Volsøe, Eds, Copenhague.

YRIGOYEN, M., 1969. — Problemas estratigraficos del Terciario de Argentina. *Ameghiniana*, Buenos Aires, **6** : 315-329.

ZABERT, L., & R. HERBST, 1977. — Revision de la microfauna miocena de la Formacion Paraná (entre Victoria y Villa Urquiza, Provincia de Entre Ríos, Argentina). Con algunas consideraciones estratigraficas. FACENA 1 : 131-168.

PLANCHE I

Properiptychus argentinus (Ameghino 1893).

1 — P^4 (?) figurée par Frenguelli (1922, fig. 1 b, c) sous le nom de *Prionodelphis rovereti* Frenguelli, 1922 : a, vue externe ; b, vue postérieure ; c, vue occlusale (MLP 34-VI-20-7).

2 — Fragment de maxillaire droit portant la P^3. Figuré par Ameghino (1897 : 36, fig. 24). Holotype (MACN 11593) : a, vue latérale ; b, vue ventrale ; c, vue postérieure ; d, vue médiale.

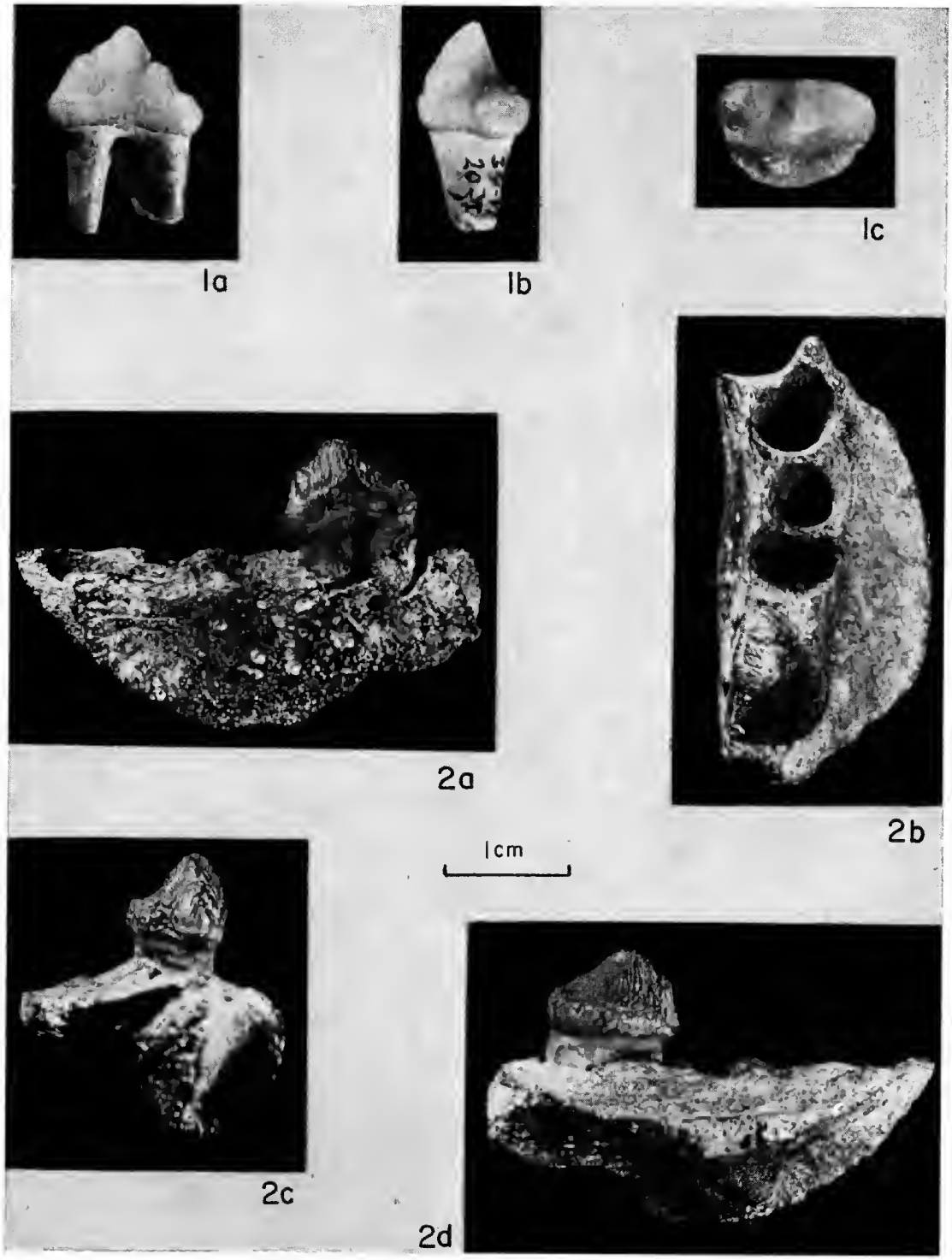


PLANCHE I

PLANCHE II

1 — P^4 (?) droite de *Properiptychus argentinus* (MACN 3538b) : a, vue occlusale ; b, vue externe.
2 — P^4 (?) droite d'*Homiphoca capensis* : a, vue occlusale ; b, vue externe (MNHN AFS 17).
3 — P^4 (?) droite d'*Homiphoca capensis* : a, vue occlusale ; b, vue externe (MNHN AFS 18).
4 — M^1 droite de *Properiptychus argentinus* (moulage) (MACN 1582) figurée par Ameghino (1889, pl. 77, fig. 3) sous le nom d'*Apera sanguinaria* et par Frenguelli (1922, fig. 2 c) sous le nom de *Prionodelphis rovereti*. Vue externe.
5 — M^1 droite d'*Homiphoca capensis*. Vue externe (MNHN AFS 19).
6 — M^1 droite d'*Homiphoca capensis*. Vue externe (MNHN AFS 20).
7 — P^1 (?) droite de *Properiptychus argentinus* (MACN 3538c) : a, vue interne ; b, vue occlusale.

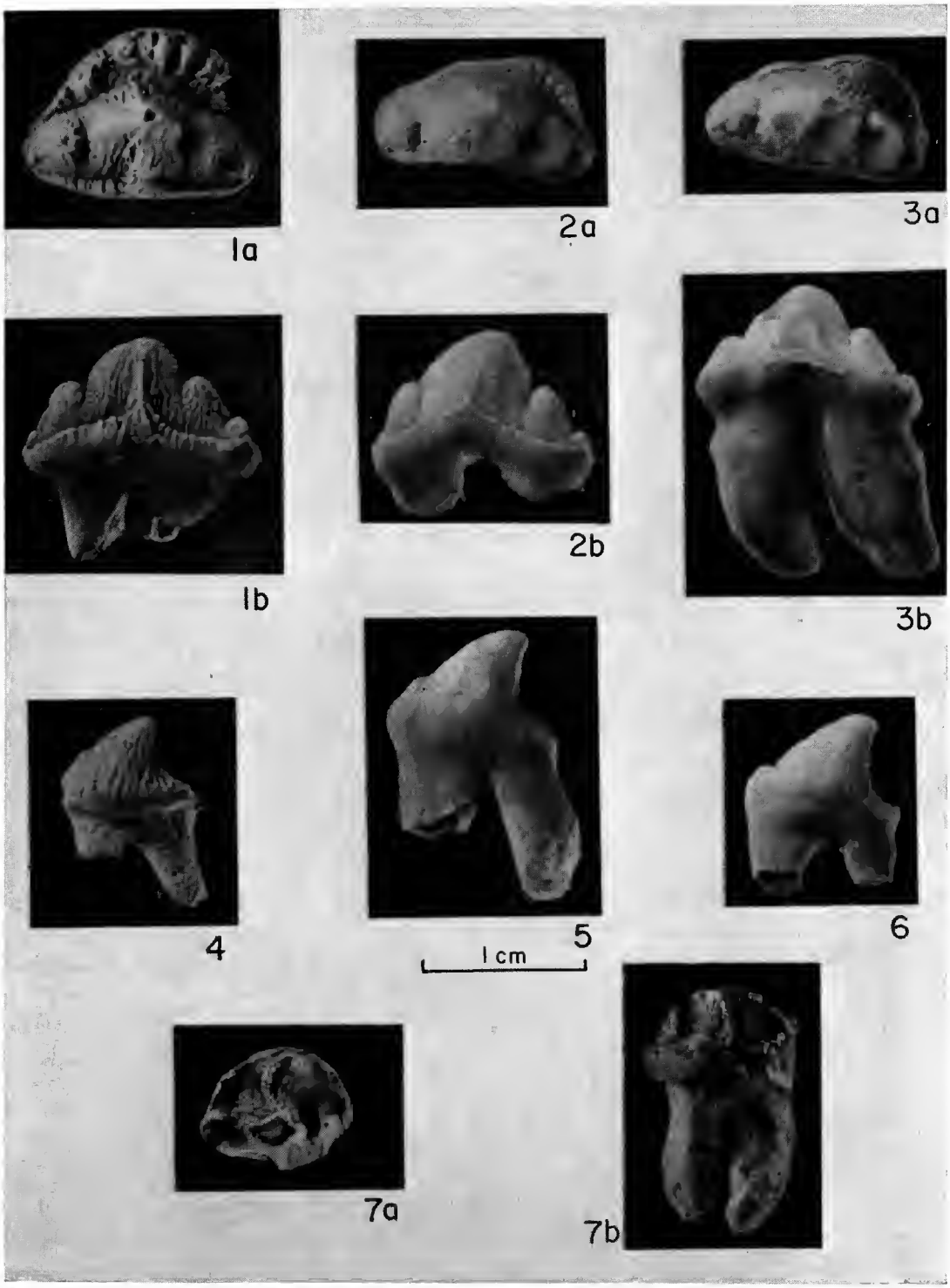


PLANCHE II

PLANCHE III

1 — P_4 (?) gauche de *Properiptychus argentinus* (moulage) (MACN 1582) figurée par Ameghino (1889, pl. 77, fig. 1) sous le nom d'*Apera sanguinaria* et par Frenguelli (1922, fig. 2 a) sous le nom de *Prionodelphis rovereti* : a, vue occlusale ; b, vue externe.
2 — P_4 (?) gauche de *Piscophoca pacifica* (Holotype MNHN SAS 564) : a, vue occlusale ; b, vue externe.
3 — P_4 (?) droite d'*Homiphoca capensis* (MNHN AFS 21) : a, vue occlusale ; b, vue externe.
4 — P_4 (?) droite d'*Homiphoca capensis* (MNHN AFS 22) : a, vue occlusale ; b, vue externe.

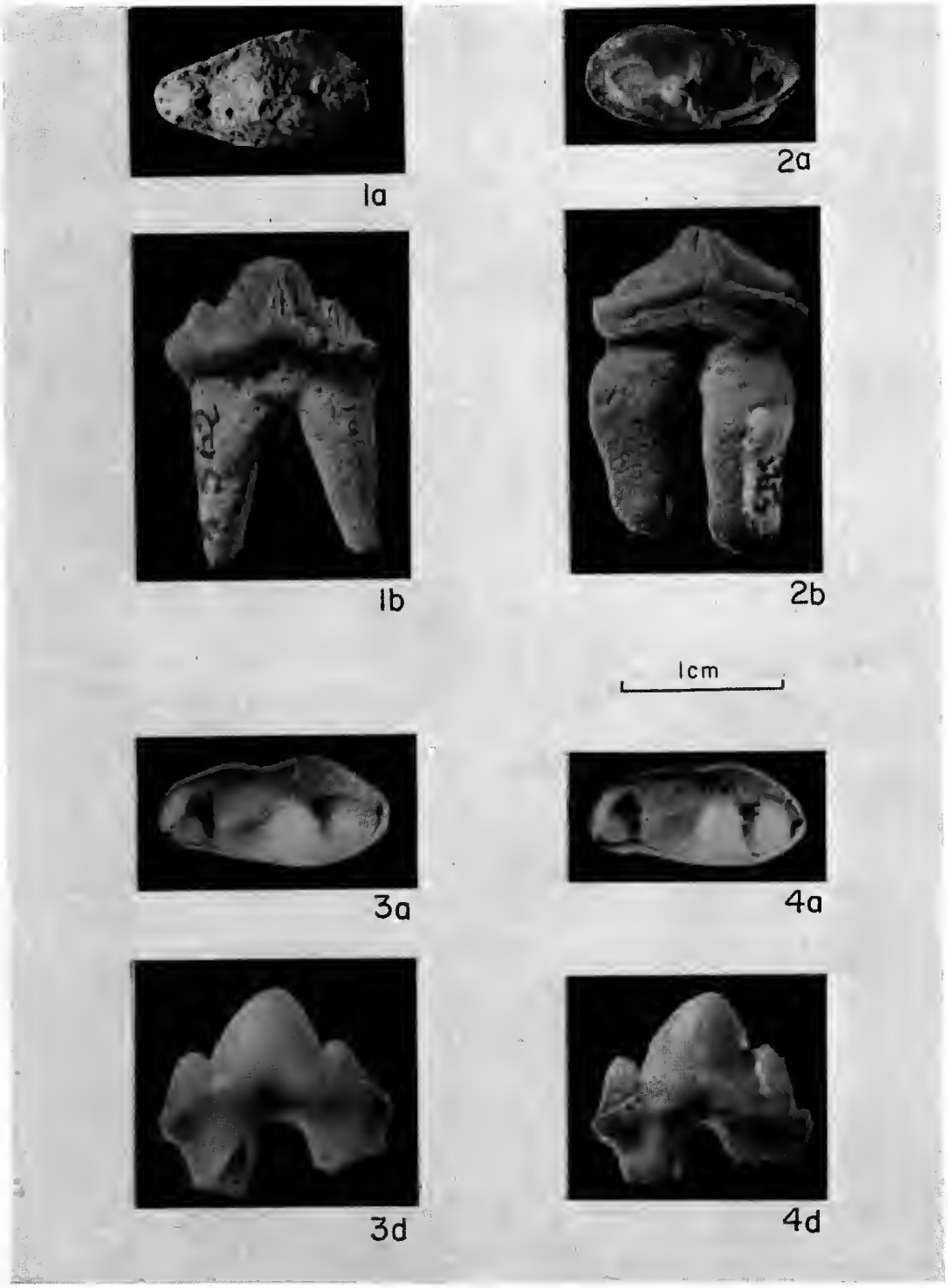


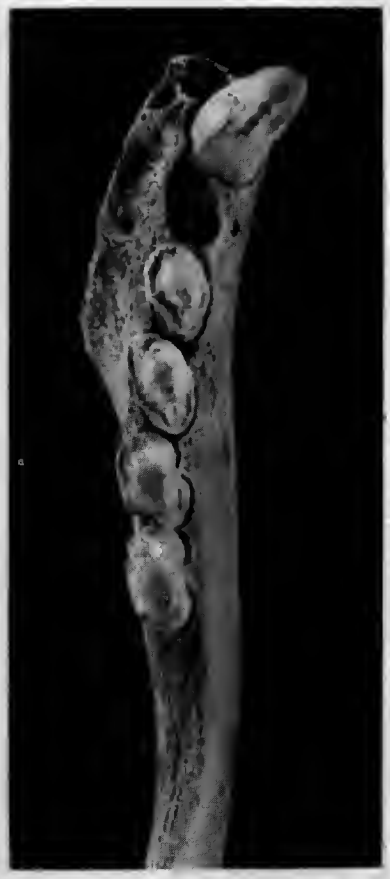
PLANCHE III

PLANCHE IV

1 — Portion d'hémimandibule de *Properiptychus argentinus* portant P_3 et P_4 (MACN 3538a) : a, vue externe b, vue occlusale.
2 — Hémimandibule de *Monachus monachus*. Dents en vue occlusale.

Ia

Ib



2

5cm

PLANCHE IV

PLANCHE V

Humérus droit (Paratype MER 685) de *Properiptychus argentinus* (Ameghino, 1893) : a, vue antérieure ; b, vue médiale ; c, vue postérieure ; d, vue latérale.

PLANCHE V

PLANCHE VI

1 — Radius droit de *Properiptychus argentinus* (MACN 3678) en vue latérale.
2 — Fragment de coxal gauche de *Properiptychus argentinus* (MACN 18653) en vue latérale.
3 — Fémur gauche de *Properiptychus argentinus* (MACN 3677) : a, en vue latérale ; b, en vue antérieure.
4 — Mt I postérieur gauche d'*Homiphoca capensis* (MNHN AFS 23) en vue dorsale.
5 — Mt I postérieur gauche de *Phoca vitulina* en vue dorsale.
6 — Mt I postérieur gauche de *Properiptychus argentinus* (MLP 41-XI-13-956) en vue dorsale.
7 — Mt I postérieur gauche de *Monotherium aberratum* (moulage de IRSNB 1227) en vue dorsale.

PLANCHE VI

Bull. Mus. natn. Hist. nat., Paris, 4e sér., **4**, 1982,
section C, nos 3-4 : 209-222.

Un nouveau Bovidé (Artiodactyla, Mammalia), *Hispanodorcas torrubiae* n. g., n. sp., dans le Miocène supérieur d'Espagne

par Herbert Thomas, Jorge Morales et Émile Heintz

Résumé. — L'examen des restes de Bovidés du célèbre gisement turolien de Concud, près de Teruel, révèle l'existence d'une nouvelle antilope de taille moyenne. Celle-ci est caractérisée principalement par des chevilles osseuses présentant une torsion de type *Oioceros* et une profonde gouttière parcourant la face externe. Cette forme représente un genre nouveau et une espèce nouvelle : *Hispanodorcas torrubiae*. Aucune relation de parenté ne peut être clairement dégagée à propos de cette espèce de Concud reconnue également à Los Mansuetos. Cependant, la placer au sein des Antilopini correspondrait à l'hypothèse la plus satisfaisante.

Abstract. — The examination of the bovids from the well known turolian locality of Concud near Teruel, led to the discovery of a new antelop of medium size. This form, clearly characterized by horn cores with an *Oioceros* type torsion and with a deep lateral groove, represents a new genus and species : *Hispanodorcas torrubiae*. The relationships of *H. torrubiae* from Concud, recognized also at Los Mansuetos, remain unknown. However, this species could be best assigned to the Antilopini.

H. Thomas et E. Heintz, *Institut de Paléontologie (LA 12), Muséum national d'Histoire naturelle, 8, rue Buffon, 75005 Paris, et Musée de l'Homme (LA 49).*
J. Morales, *Instituto de Geologia, J. Gutierrez Abascal 2, Museo Nal. Ciencias Naturales, Madrid, Espagne*

Introduction

Connu de longue date, le gisement de Concud, près de Teruel, est, avec celui des sablières de San Isidro, aujourd'hui disparues dans Madrid, historiquement lié aux débuts de la paléontologie hispanique. En effet, dès 1754, des ossements « pétrifiés » du bassin tertiaire de Teruel furent signalés et décrits par l'abbé Torrubia qui les confondit alors avec des restes de chevaux d'une ancienne bataille. Par la suite, Bowles (1776) et Cuvier (1835) à leur tour conclurent qu'il s'agissait d'ossements d'animaux domestiques, tels bœufs, chevaux et moutons.

Dans son essai descriptif de la géologie d'Espagne, un ingénieur des mines, Ezquerra del Bayo, établit pour la première fois, en 1854, une liste faunique des fossiles de divers gisements d'Espagne dont celui de Concud (Ezquerra, 1854 : 168). Nombre de fossiles récoltés jusqu'alors, tant à Concud qu'à Alcoy, furent adressés par Ezquerra à Hermann von Meyer (1844) ainsi qu'à Gervais (1853). Ce dernier examina aussi les fossiles envoyés par Verneuil et Collomb, auteurs d'une bibliographie exhaustive sur la géologie et la

paléontologie de l'Espagne (1853 : 138-147). Les premiers restes fossiles du gisement de Concud ayant été disséminés dès la première moitié du XIXe siècle, nous renvoyons à des historiques plus détaillés faits notamment par WOODWARD (1903), VILLALTA et CRUSAFONT (1947) et AGUIRRE (1975). Plusieurs révisions des grands mammifères de Concud entreprises d'abord par HERNANDEZ-PACHECO (1930*a* et *b*), puis reprises par VILLALTA et CRUSAFONT (1974), GOLPE-POSSE (1974), ALBERDI (1974), MORALES et SORIA (1977 et 1979) ont permis d'établir des listes fauniques.

En ce qui concerne les Bovidés, il faut noter que les premières listes fauniques ne comportaient que *Bos concudensis* Ezquerra et éventuellement *Antilope boodon*. Plus récemment, et malgré l'absence d'études approfondies, la liste des Bovidés a été considérablement allongée comme en témoigne le tableau I.

TABLEAU I.

VILLALTA et CRUSAFONT (1974) [1]	GOLPE-POSSE (1974) [2]	ALBERDI (1974)
Gazella deperdita	*Gazella deperdita*	*Gazella deperdita*
Gazella brevicornis (?)	*Gazella brevicornis*	*Gazella brevicornis*
	Gazella sp.	*Gazella* sp.
Protragocerus sp. (?)		*Protragocerus* sp.
		Protragocerus aff. *sansaniensis*
Tragocerus amaltheus	*Tragocerus amaltheus*	*Tragocerus amaltheus*
	Tragocerus sp.	
Parabos boodon (?)	*Parabos boodon*	
		Leptobos concudensis
		Bovidae indet.

1. Selon ces auteurs (*ibid.* : 208), les restes de « *Leptobos concudensis* » seraient en fait ceux d'un *Helladotherium*.
2. Cette liste ne concerne que le site de Cerro de la Garita.

Sans avoir une opinion circonstanciée sur ces listes, nous avons pu vérifier la présence des taxons suivants : *Gazella* sp., *Hispanodorcas torrubiae* n. g., n. sp., *Miotragocerus* sp., Bovidé indet. de grande taille.

L'examen des anciennes collections de l'Instituto Provincial de Paleontologia de Sabadell et de celles de l'Instituto de Geologia à Madrid, enrichies par les récentes récoltes de Rafael ADROVER et Jorge MORALES, a permis de réunir un ensemble de spécimens correspondant à une nouvelle forme de Bovidé.

ABRÉVIATIONS : IPPS-CC = Instituto Provincial de Paleontologia de Sabadell, Concud ; CRA-C = Collection Rafael Adrover, Concud ; CRA-M = Collections Rafael Adrover, Los Mansuetos.

Les collections Rafael Adrover sont entreposées à l'Instituto de Geologia à Madrid.

SYSTÉMATIQUE

HISPANODORCAS n. g.

Espèce-type : *Hispanodorcas torrubiae* n. sp.
Diagnose du genre : le genre étant monospécifique, voir diagnose de l'espèce.

Hispanodorcas torrubiae n. sp.

Holotype : Cheville osseuse gauche presque complète avec une portion de frontal, IPPS-CC 20502 (fig. 1 ; pl. I, 1 et pl. II, 1).

Paratypes : Deux chevilles osseuses, l'une gauche (IPPS-CC 20503) et l'autre droite (IPPS-CC 20501) (pl. I, 2 et pl. II, 2).

Matériel référé : Plusieurs fragments de chevilles osseuses : droites (CRA-C 14 ; CRA-C 44 ; CRA-C 76 ; CRA-C 102) ; gauches (CRA-C 1 ; CRA-C 71 ; CRA-C 72 ; CRA-C 101) ; côté indét. (CRA-C 7 ; CRA-C 9 ; CRA-C 103 ; CRA-C 104 ; IPPS-CC 20510) ; une cheville droite (CRA-M), sans numéro, du gisement de Los Mansuetos, près Teruel.

Localité-type : Concud près de Teruel, Espagne. Sous le nom de Concud sont regroupés les fossiles de deux sites distants l'un de l'autre de plusieurs centaines de mètres : Cerro de la Garita et Barranco de las Calaveras. Le site des spécimens étudiés serait probablement Cerro de la Garita.

Âge : Miocène supérieur, Turolien supérieur, zone MN 12. Rappelons que Los Mansuetos, d'où provient le spécimen CRA-M étudié ici, constitue le gisement de référence pour la zone MN 12 en Espagne.

Dérivation de noms : Nom de genre composé du latin *hispanus* (espagnol) et de *dorkas* qui désigne une Gazelle ou une Antilope. Le nom d'espèce est dédié à la mémoire de l'abbé J. Torrubia qui fut le premier à décrire en 1754 les ossements fossiles de Concud.

Diagnose : Bovidé de taille vraisemblablement voisine de l'actuelle *Gazella rufifrons*. Chevilles osseuses insérées au-dessus des orbites, inclinées vers l'arrière, à peine ou faiblement incurvées vers l'arrière, caractérisées par une torsion de type *Oioceros*, par la profonde gouttière qui parcourt la face externe, par la présence éventuelle d'une gouttière sur la face postéro-interne ; présence éventuelle d'anneaux de croissance ; absence de carène et de sinus ; dimorphisme sexuel inconnu. Pédicule long à l'avant, très court à l'arrière, dépourvu de sinus ; sa face externe est parcourue par une gouttière qui prend naissance au coin antéro-supérieur de la fossette postcornuale. Foramens sus-orbitaires petits, étroits et profonds. Denture et squelette postcrânien inconnus. Rapporté avec doute à la tribu des Antilopini.

Description

Insertion et pédicule : Les chevilles osseuses sont insérées en partie sur le toit de l'orbite et en partie sur le toit de l'encéphale. Le pédicule de la cheville est assez long sur la face antérieure (13 mm de long au-dessus du foramen sus-orbitaire) et très réduit sur la face

postérieure (3 mm). Le pédicule de l'holotype présente sur sa face externe un caractère tout à fait remarquable : une gouttière large et bien évidente (voir pl. I, 1) prend naissance à l'angle antéro-supérieur de la fossette postcornuale, se dirige obliquement vers l'avant et le haut jusqu'au bourrelet basilaire de la cheville proprement dite ; elle se prolonge ensuite sur toute la longueur de la cheville. Les pédicules de toutes les chevilles qui ont été examinées présentent cette gouttière mais à des degrés divers.

Orientation : Aucun spécimen n'est assez complet — absence du bord orbitaire et du frontal — pour renseigner sur l'orientation et la divergence des chevilles. On peut seulement affirmer que les chevilles osseuses sont plus ou moins inclinées vers l'arrière.

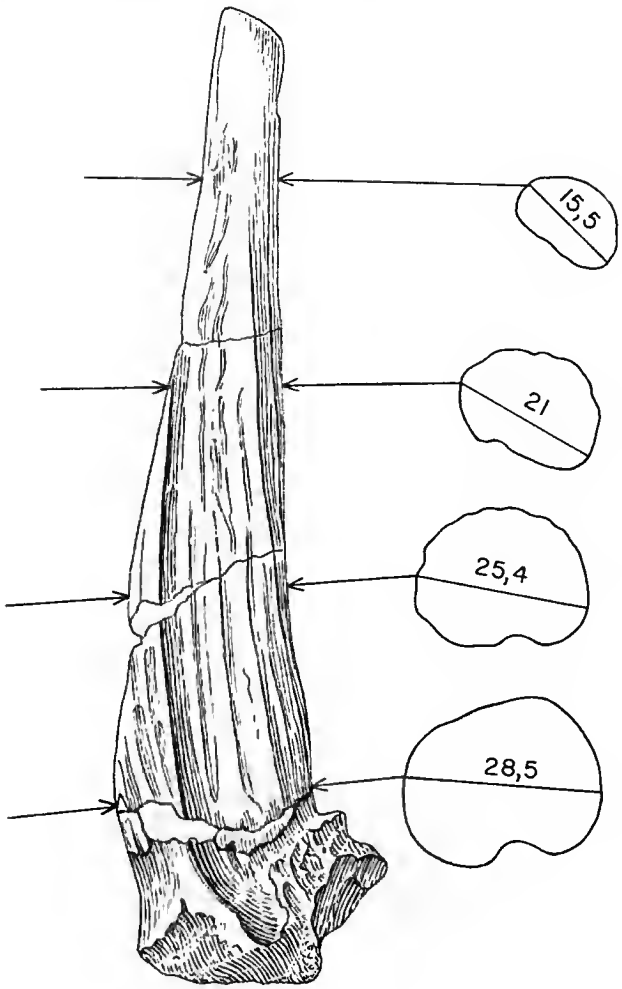


Fig. 1. — Vue latérale et sections de la cheville osseuse holotype (CC 20502) de *Hispanodorcas torrubiae* n. g., n. sp., de Concud.

PLANCHE I

Hispanodorcas torrubiae n. g., n. sp. : 1, holotype, cheville osseuse gauche CC 20502 ; vue latérale ; 2, paratype, cheville osseuse gauche CC 20503 ; vue latérale (× 1).

Forme : En vue latérale, le profil de la cheville holotype est faiblement courbe suivant son bord antérieur et presque rectiligne suivant son bord postérieur. D'autres chevilles et notamment l'un des paratypes (CC 20501) présentent la même forme. Cependant, sur plusieurs chevilles et notamment sur le paratype CC 20503 (pl. I, 2) le profil, en vue latérale, présente une courbure plus prononcée à la fois suivant le bord antérieur et le bord postérieur.

Torsion : La cheville holotype présente une torsion de type *Oioceros*. Observée en vue frontale, de la base vers l'apex, cette cheville gauche s'enroule dans le sens des aiguilles d'une montre. Rappelons que sur une cheville droite, comme par exemple le paratype CC 20501, l'enroulement se fait dans le sens inverse des aiguilles d'une montre. La cheville holotype, dépourvue de sa région apicale, atteint une longueur de 126 mm, mesurée suivant son bord antérieur ; sur cette longueur, l'enroulement de la cheville correspond à un demi tour de spire. L'axe de la spirale ainsi formée reste constamment dans le corps de la cheville : c'est une spirale fermée. La torsion de type *Oioceros* existe sur tous les spécimens énumérés dans la liste du matériel ; cependant, le degré de torsion est plus ou moins prononcé suivant les chevilles. Ainsi, sur la cheville paratype CC 20503, longue de 150 mm suivant son bord antérieur, l'enroulement n'atteint qu'un quart de tour de spire (pl. I, 2).

Ornementation : Le caractère marquant est l'existence d'une gouttière profonde qui parcourt toute la longueur de la cheville en suivant l'enroulement de cette dernière et qui matérialise ainsi la torsion de la cheville. Cette gouttière, qui existe aussi sur le pédicule, prend naissance sur la face externe, au coin antéro-supérieur de la fossette postcornuale. Son importance est variable suivant les spécimens : très marquée sur la plupart des chevilles notamment sur l'holotype et les paratypes, elle est, en revanche, à peine visible sur les spécimens C 72 et C 76. Outre cette gouttière remarquable, les chevilles sont parcourues par de nombreuses cannelures — traces de l'irrigation sanguine — plus ou moins importantes, de sorte que les chevilles osseuses de *Hispanodorcas torrubiae* ne sont pas lisses. Il faut enfin signaler qu'une seconde gouttière, généralement moins apparente et moins profonde que celle de la face externe, existe sur la face postérieure de la plupart des spécimens, mais seulement dans la moitié apicale de la cheville. Exceptionnellement, cette gouttière existe aussi dans la moitié proximale de la cheville ; c'est le cas du spécimen C 14 où une gouttière étroite mais fortement creusée prend naissance en position postéro-interne à la base de la cheville ; du fait de la torsion, cette gouttière se trouve rapidement placée sur la face postérieure. Un autre élément de l'ornementation est formé par les anneaux de croissance qui existent dans la région basale de certaines chevilles, notamment sur CC 20501 (pl. II, 2a). Ces anneaux de la cheville sont évidemment en relation avec les anneaux de croissance de l'étui corné.

Section : La section des chevilles est convexe sur la face interne, plus ou moins aplatie sur la face externe (voir fig. 1). Les bords antérieur et postérieur sont arrondis ; il n'y a pas de carènes. La face externe, aplatie, présente toujours une encoche due à la gouttière qui est plus ou moins marquée suivant les spécimens.

Le spécimen CRA-M de Los Mansuetos : L'unique cheville osseuse de Los Mansuetos que nous rapportons à *Hispanodorcas torrubiae* mérite une mention spéciale. Elle a été identifiée par l'un d'entre nous (J. M.) dans la collection que Rafael Adrover a réalisée à Los Mansuetos, gisement situé aux portes de Teruel. Il s'agit d'une cheville droite incomplète, un peu roulée et sans numéro d'inventaire. Tous les caractères, taille, torsion

TABLEAU II. — Dimensions (en mm) et indices de compression des chevilles osseuses de *Hispanodorcas torrubiae* n. g., n. sp., de Concud et de Los Mansuetos.

		CONCUD														LOS MANSUETOS
	HOLOTYPE	PARATYPES		SPÉCIMENS RÉFÉRÉS								N	Min.-Max.	M.	Variance V	(Sans numéro)
	C20502	C20501	C20503	C20510	C 102	C 71	C 76	C 14	C 72	C 44	C 101					
Longueur des chevilles (estimation)	145	—	175	—	—	—	—	—	—	—	—	2	145-175	160	—	—
DAP à la base	28,5	30	29,3	27	27	22,5	25,7	21,8	22,8	24	25	11	21,8-30	25,8	7,25	25
DT à la base	24	25	26,4	23	23	18,5	20	19,8	20,5	19,8	20,3	11	18,5-26,4	21,8	6,52	22
DAP à 7 cm de la base	21	20,5	21,4	—	20	—	—	—	—	—	—	4	20-21,4	20,7	—	—
DT à 7 cm de la base	15,8	16,5	16	—	15	—	—	—	—	—	—	4	15-16,5	15,8	—	—
Indices de compression: DT base × 100/ DAP base	84,2	83,3	90,1	85,1	85,2	82,2	77,8	90,8	89,9	82,5	81,2	11	77,8-90,8	80,02	16,66	88
Indices de compression: DT à 7 cm × 100/ DAP à 7 cm	75,2	80,5	74,8	—	75	—	—	—	—	—	—	4	74,8-80,5	76,4	—	—

dans le sens inverse des aiguilles d'une montre, gouttière profonde sur la face externe, etc., concordent parfaitement avec ceux de *H. torrubiae*.

Dimensions : Les chevilles osseuses sont relativement courtes et correspondent vraisemblablement à un Bovidé d'une taille voisine d'une Gazelle telle que la Gazelle à front roux (*Gazella rufifrons*). La longueur de la cheville osseuse holotype, conservée sur 126 mm, peut être estimée à 145 mm. Les chevilles présentent une compression médio-latérale variable, généralement peu prononcée à la base et plus accentuée vers le sommet (voir tabl. II). Les dimensions des chevilles indiquées par les diamètres antéro-postérieurs et transversaux (DAP et DT) désignent en réalité les deux axes principaux des ellipses correspondant aux sections de la cheville suivant des plans perpendiculaires successifs (voir fig. 1). DAP, grand axe ; DT, petit axe.

Observations sur les dents

L'attribution de dents à *Hispanodorcas torrubiae*, défini d'après une cheville osseuse, est très délicate. Dans la mesure où les dimensions des appendices frontaux évoquent assez bien la taille générale de l'animal, les proportions des dents d'*H. torrubiae* pourraient être voisines de celles des dents d'une gazelle de taille moyenne à grande.

Dans le matériel de Concud existent, d'une part, des dents de taille trop forte pour appartenir à *H. torrubiae* et que nous rapportons à un Miotragoecère (pl. II, 9 et 10), d'autre part, une douzaine de dents qui, par leur taille plus petite, pourraient correspondre à *H. torrubiae*. Cependant, la plupart d'entre elles appartiennent vraisemblablement à une gazelle dont la présence à Concud est attestée par une cheville osseuse gauche (CRA-C 77). Il s'agit des restes dentaires suivants (pl. II, 4 à 7) : un fragment de mandibule gauche avec M_3 (IPSCC 20507) ; un fragment de mandibule droite avec M_1-M_2 (IPSCC 20506) ; un fragment de mandibule droite avec M_3 (CRA-C 115) ; une M^3 droite (IPSCC 20514) ; deux autres M^3 (non numérotées) ; une M^1 gauche (IPSCC 20515) ; une P^4 droite (IPSCC 20517).

Les dimensions de ces dents correspondent approximativement à celles de *Gazella deperdita* notées par Heintz (1971). Une D_3 (IPSCC 20519), dont nous n'avons pu comparer les dimensions avec celles de *G. deperdita*, rappelle la morphologie d'une D_3 de gazelle (pl. II, 8) par l'infléchissement du métaconide vers l'arrière, rejoignant l'entostylide en obturant ainsi les vallées 3 et 4.

En revanche, deux autres prémolaires inférieures, deux P_4 (IPSCC 20516 et 20518)

PLANCHE II

1-3, *Hispanodorcas torrubiae* n. g., n. sp. : 1, holotype, cheville osseuse gauche CC 20502 ; vue frontale ; 2, paratype, cheville osseuse droite CC 20501 (a, vue interne ; b, vue latérale) ; 3, M^1 CC 20512 ; vue occlusale. — 4-8, *Gazella* sp. : 4, fragment de mandibule droite avec M_1-M_2 (CC 50506), vues occlusale et latérale ; 5, fragment de mandibule gauche avec M_3 (CC 20507), vues occlusale et latérale ; 6, M^1 gauche (CC 20515), vue occlusale ; 7, M^3 droite (CC 20514), vue occlusale ; 8, D_3 gauche (CC 20519), vue occlusale. — 9-10, *Miotragocerus* sp. : 9, M^1 gauche (CC 20513), vue occlusale ; 10, M^2 gauche (CC 20511), vue occlusale. — 11, « *Cervus concudensis* », P_4 gauche (CC 20518), vue occlusale. (Tous les clichés × 1.)

PLANCHE II

diffèrent par leur allure générale massive des prémolaires de gazelles. La morphologie des deux P_4 est caractérisée par (pl. II, 11) :

— le fort développement dans le sens antéro-postérieur du conide médio-lingual (métaconide). Sur l'un des spécimens (IPSCC 20518) l'extension vers l'avant de ce conide obture la vallée 2 (suivant la terminologie employée par Heintz 1970) ; sur l'autre, l'extension vers l'arrière tend à la fermeture de la vallée 3 ;

— le sillon interlobaire sur la face labiale séparant l'hypoconide du protoconide est très profond ;

— la face labiale à l'avant du sillon interlobaire est fortement convexe ;

— l'entoconide est soudé à l'entostylide, colmatant ainsi la vallée 4.

Ces deux P_4 appartiennent à un Cervidé. Elles sont proches par leur taille et leur morphologie des P_4 de l'unique Cervidé de la faune du mont Lubéron que Gervais (1859) a cité sous le nom de *Cervus matheroni*. En 1930, Hernandez-Pacheco a décrit à son tour des restes de Cervidés de Concud sous le nom de « *Capreolus concudensis* », soulignant que la denture de ce Cervidé présentait de fortes analogies avec celle du Cervidé du mont Lubéron, (Hernandez-Pacheco, 1930*b* : 340-341).

En définitive, il ne reste qu'une M^1 (IPSCC 20512) qui semble, en raison de ses dimensions légèrement plus fortes et de ses caractéristiques morphologiques, pouvoir être distinguée d'une dent de gazelle et, ce faisant, être attribuée, avec une certaine réserve, à *Hispanodorcas torrubiae*. Cette dent est caractérisée par (pl. II, 3) :

— un pilier du paracône peu saillant sur la face labiale ;

— une muraille labiale du second lobe (à l'emplacement du pilier du métacône) légèrement concave ;

— l'absence de colonnette interlobaire ;

— un émail ridé.

Dimensions. — Longueur : 13 mm ; largeur du 1er lobe : 11,7 mm ; largeur du 2e lobe : 12,3 mm.

Comparaisons et discussions

Les chevilles osseuses d'*Hispanodorcas torrubiae* rappellent, par leur allure générale, celles des Gazelles, avec lesquelles elles ont certainement été confondues jusque-là. Par leur torsion de type « *Oioceros* » et par l'existence d'une gouttière très marquée sur la face externe, ces chevilles diffèrent cependant clairement de celles des Gazelles. La parenté phylétique de *H. torrubiae* et par suite sa position systématique demeurent problématiques. Deux hypothèses seulement nous paraissent devoir être examinées : appartenance à la tribu des Reduncini ou à celle des Antilopini.

Hypothèse Reduncini

Bien que Boné *et al.* (1978 : 92) aient signalé la tribu Reduncini dans le gisement turolien d'Arenas del Rey en Espagne, Thomas *et al.* (*sous presse*) estiment qu'aucun spécimen

de ce gisement n'atteste sa présence. Cependant, à la lumière des récentes données sur les migrations fauniques dans le domaine bético-rifain (Thomas *et al.*, *sous presse*), la présence de Reduncini en Espagne n'est pas exclue à priori ; l'hypothèse de leur présence mérite donc d'être examinée brièvement.

A Concud, aucun reste dentaire de Bovidé ne possède la morphologie typique des Reduncini modernes. Cela n'est pas une preuve de leur absence car, d'après Gentry (1980 : 255), cette morphologie n'existerait pas encore au Miocène supérieur, ni au Pliocène inférieur.

Les chevilles osseuses de *H. torrubiae* rappellent, par leur forme générale (sauf la torsion de type *Oioceros*) et leur ornementation (nombreuses cannelures et anneaux de croissance), celles des Reduncini. En revanche, et contrairement à tous les Reduncini miopliocènes (Dhok Pathan des Siwaliks du Pakistan, Sahabi en Libye, Langebaanweg en Afrique du Sud, etc.), l'os frontal intercornual de *H. torrubiae* n'est pas épaissi. Une relation de parenté entre *H. torrubiae* et les Reduncini nous paraît, de ce fait, exclue.

Hypothèse Antilopini

Aucune Gazelle ne possède, à notre connaissance, de chevilles osseuses identiques à celles d'*H. torrubiae*. La seule ressemblance qui mérite d'être notée concerne un massacre muni de ses deux chevilles (nº 29405), provenant de la zone III des dépôts du Pliocène terminal du bassin de Yushé dans le Shansi en Chine. Teilhard et Trassaert (1938 : 24, fig. 28), en décrivant ce spécimen sous le nom de *Gazella* sp., signalent que ces chevilles présentent une torsion de type *Oioceros*, caractère qu'ils interprètent comme une anomalie. Signalons que de tels aspects atypiques dans la conformation des chevilles osseuses de Gazelles ne semblent pas connus ailleurs. Ce spécimen de Chine devra être réexaminé avant qu'un rapprochement phylétique avec *H. torrubiae* puisse être envisagé.

Parmi les autres formes miocènes, pour lesquelles un rapprochement, en raison d'un enroulement de type *Oioceros*, semble à priori possible, figurent plusieurs espèces classées quelquefois dans les Antilopini, le plus souvent dans les Caprini. Il s'agit des formes suivantes :

— les espèces groupées dans le genre *Oioceros* Gaillard (voir Heintz, 1973) ;

— *Prosinotragus tenuicornis* Bohlin, 1935, de la faune à *Hipparion* dans la province de Kansu en Chine ;

— *Prosinotragus kuhlmanni* (Andree, 1926) de Samos, Grèce [*Ovis kuhlmanni* a d'abord été rapproché d'*Oioceros* par Heintz (1973), puis rapporté récemment au genre *Prosinotragus* Bohlin par Solounias (1981 : 165) ; selon Solounias (*ibid.*), *Prosinotragus* est présent dans la Formation Béglia (Tunisie)] ;

— *Sinotragus wimani* Bohlin, 1935, de la faune à *Hipparion* dans la province du Shansi en Chine ;

— *Sinotragus crassicornis* (Sickenberg, 1936) de Samos, Grèce [Solounias (1981 : 164) estime à raison que *Samotragus crassicornis* Sickenberg doit être inclus dans le genre *Sinotragus*] ;

— *Parantidorcas latifrons* Arambourg, 1979, d'Afrique du Nord (Oued el Atteuch, Aïn Boucherit, Aïn Brimha) ;

— *Benicerus theobaldi* Heintz, 1973, de Beni Mellal (Maroc).

Les chevilles osseuses de ces espèces présentent toutes un même type d'enroulement : observée en vue frontale, de la base vers le sommet, l'enroulement de la cheville gauche se fait dans le sens des aiguilles d'une montre. Cet enroulement étant particulièrement net dans le genre *Oioceros* Gaillard, il est de ce fait souvent fait référence à un enroulement de type *Oioceros*.

Si chez *Sinotragus* (= *Samotragus*) *crassicornis* les chevilles osseuses sont parcourues par une gouttière qui rappelle quelque peu celle que l'on observe chez *H. torrubiae*, une telle gouttière est encore plus développée chez deux espèces d'*Oioceros* : *O. atropatenes* de Maragheh et *O. rothi* de Pikermi.

Cependant, ce caractère, tout comme celui de l'enroulement de type *Oioceros*, ne peut être interprété selon nous comme une synapomorphie entre *H. torrubiae* et les espèces précédentes. En effet, la cheville d'*H. torrubiae* diffère par ailleurs si clairement des chevilles de ces espèces, qu'un exposé méthodique de ces différences nous paraît superflu. D'une manière générale, les chevilles osseuses des espèces énumérées ci-dessus se distinguent de celles d'*H. torrubiae* soit par leur taille (nettement plus grande avec épaississement considérable à la base), soit par la présence d'une ou plusieurs carènes plus ou moins développées, soit par une spiralisation très accentuée.

L'ensemble de ces remarques nous amène à la conclusion qu'aucune relation de parenté ne peut être dégagée à propos de ce taxon nouveau du Turolien d'Espagne. Néanmoins, la proposition la plus satisfaisante consisterait à classer *Hispanodorcas torrubiae* au sein des Antilopini.

Remerciements

Nous remercions le Dr Maria Teresa Alberdi qui a permis à l'un de nous (H. Thomas) d'effectuer, grâce au Consejo superior de Investigaciones cientificas de Madrid, une mission d'étude en Espagne dans le cadre de la Coopération scientifique franco-espagnole ; le Pr. Crusafont-Pairo et M. Moya-Sola, pour leur accueil très généreux au Museo Civico de Paleontogia de Sabadell ; M. Hm. R. Adrover (Teruel), pour avoir bien voulu nous autoriser à examiner le matériel qu'il a récolté ; enfin, pour la réalisation technique de ce travail, Mmes J. Brondel et F. Pilard et M. D. Serrette.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Aguirre, E., 1975. — Paleomastologia Neogeno-Cuaternaria en Teruel. *Actas I Coloq. Int. Sobre biostrat. cont. del Neogeno superio y Cuaternario inferior Montpellier Madrid*, ed. M. T. Alberdi et E. Aguirre : 55-61.

Alberdi, M. T., 1974. — Las « faunas de *Hipparion* » de los yacimientos españoles. *Estudios geológicos*, Madrid, **30** : 189-212.

Andree, J., 1926. — Neue Cavicornier aus dem Pliocän von Samos. *Palaeontographica*, Stuttgart, **67** : 135-175, pl. X-XVI.

Arambourg, C., 1979. — Vertébrés villafranchiens d'Afrique du Nord (Artiodactyles, Carnivores, Primates, Reptiles, Oiseaux). Fondation Singer-Polignac, 141 p., 61 pl.

Bohlin, B., 1935. — Cavicornier der *Hipparion* — Faunas Nord-Chinas. *Palaeont. Sin.*, Peking, C, **9**, (4) : 166 p., 143 fig., 20 pl.

Bone, E., C. J. Dabrio, J. Michaux, J. A. Pena, et A. Ruiz Bustos, 1978. — Stratigraphie et Paléontologie du Miocène supérieur d'Arenas del Rey, Bassin de Grenade (Andalousie, Espagne). *Bull. Soc. belge Géol.*, Bruxelles, **87** (2) : 87-99, 3 fig., 1 pl.

Bowles, W., 1776. — Introduction à l'histoire naturelle et à la Géographie physique de l'Espagne. Trad. par le vicomte de Flavigny, Paris, L. Cellot, in-8° : xii + 516 p.

Cuvier, G., 1835. — Des os fossiles de Concud, près de Téruel en Aragon. *In* : Recherches sur les Ossements Fossiles. 4e édit., Paris, **6** (art. XII) : 427-431.

Ezquerra del Bayo, J., 1854. — Ensayo de una description general de la Estructura geologica del Terreno de España en la Peninsula. Seccion III. *Mems R. Acad. Cienc. Madrid*, **1**, (3) : 161-184.

Gentry, A. W., 1980. — Fossil Bovidae (Mammalia) from Langebaanweg South Africa. *Ann. S. Afr. Mus*, Cape Town, **79** (8) : 213-337, 63 fig., 6 tabl.

Gervais, P., 1853. — Description des ossements fossiles de mammifères rapportés d'Espagne par MM. de Verneuil, Collomb et de Lorière. *Bull. Soc. géol. Fr.*, Paris, 2e sér., **10** : 147-167, 6 pl.

— 1859. — Zoologie et Paléontologie françaises. Nouvelles recherches sur les animaux vertébrés. 2e éd., Paris, Arthus Bertrand : 538 p., 51 fig., 84 pl.

Golpe-Posse, J. M., 1974. — Faunas de Yacimientos con Suiformes en el Terciario español. *Paleontologia y Evolucion. Publ. Inst. Prov. Pal. Sab.*, Sabadell, **13** : 1-87.

Heintz, E., 1970. — Les Cervidés villafranchiens de France et d'Espagne. *Mém. Mus. natn. Hist. nat., Paris*, n. s., sér. C, Sciences de la Terre, **22** (1) : 303 p., 40 pl. ; (2) : 319 fig., 131 tabl.

— 1971. — *Gazella deperdita* (Gervais) 1847 (Bovidae, Artiodactyla, Mammalia) du Pontien du Mont Luberon, Vaucluse, France. *Annls Paléont.* (Vertébrés), Paris, **57** (2) : 209-229, 5 pl.

— 1973. — Un nouveau Bovidé du Miocène de Beni Mellal, Maroc : *Benicerus theobaldi*, n. g., n. sp. (Bovidae, Artiodactyla, Mammalia). *Annls scient. Univ. Besançon*, Géol., 3e sér., **18** : 245-248.

Hernández-Pacheco, E., 1930*a*. — Las grandes fieras de los yacimientos paleontológicos de Concud (Teruel). *Boln R. Soc. esp. Hist. nat.*, Madrid, **30** : 149-158.

— 1930*b*. — Un suido y un nuevo cervido del yacimiento paleontológico de Concud (Teruel). *Boln R. Soc. esp. Hist. nat.*, **30** : 331-344, pl. IX-X.

Meyer, H., von, 1844. — Sur quelques ossements de terrains tertiaires de Madrid. *Neues Jb. Mineral., Geogn., Geol. Petrofaktenkunde*, Stuttgart : 289.

Morales, J., et D. Soria, 1977. — Presencia de la Asociación *Machairodus-Paramachairodus* en Concud (Teruel). *Revista Teruel*, Teruel, **57-58** : 1-9, 8 fig.

Morales, J., et D. Soria, 1979. — Nuevos datos sobre los carnivoros del área de Teruel. Sintesis y biostratigrafia. *Estudios geol.*, Madrid, **35** : 497-504.

Sickenberg, O., 1936. — Über *Samotragus crassicornis* nov. gen. et spec. aus dem Unterpliozän von Samos. *Paläont. Z.*, Stuttgart, **18** : 90-94.

Solounias, N., 1981. — The Turolian Fauna from the Island of Samos, Greece with Special Emphasis on the Hyaenids and the Bovids. *Contr. Vertebr. Evol.*, New York, **6** : xvi + 232 p., 67 fig., 1 carte, 42 tabl.

Teilhard de Chardin, P., et M. Trassaert, 1938. — Cavicornia of South-Eastern Shansi. *Palaeont. Sin.*, Peking, n. s., C, (6) : 106 p., 4 pl.

Thomas, H., R. Bernor, et J. J. Jaeger (sous presse). — Origines du peuplement mammalien en Afrique du Nord durant le Miocène terminal. *Géobios*, Lyon.

Torrubia, J., 1754. — Apparato para la Historia Natural Espanola. Madrid, don Augusta di Gordeguela, in-folio, **1** : 204 p.

Verneuil, E., de et E. Collomb, 1853. — Coup d'œil sur la constitution géologique de quelques provinces de l'Espagne. *Bull. Soc. géol. Fr.*, Paris, 2e sér., **10** : 61-147.

Villalta, C. J. de F., et M. Crusafont Pairo, 1947. — Les gisements de Mammifères du Néogène espagnol. Bassin de Calatayud-Teruel, Pontien (Concud). *C. r. Somm. Séanc. Soc. géol. Fr.*, Paris, **14** : 278-280.

Woodward, A. S., 1903. — The lower Pliocene Bone-bed of Concud, Province of Teruel, Spain. *Geol. Mag.*, London, **10** : 203-207, pl. XII.

Le Comité de Rédaction du Bulletin du Muséum *remercie les spécialistes qui ont bien voulu prêter leur concours pour le choix et l'examen critique des manuscrits reçus pour publication dans la section C au cours de l'année 1982 :*

J. Daget, Laboratoire d'Ichtyologie générale et appliquée, MNHN, 25, rue Cuvier, 75005 Paris.

J. Fabriès, Laboratoire de Minéralogie, MNHN, 61, rue Buffon, 75005 Paris.

A. Gentry, Paleontology, British Museum, Cromwell road, London SW 7 5 BD.

L. Ginsburg, Institut de Paléontologie, MNHN, 8, rue Buffon, 75005 Paris.

L. Leclaire, Laboratoire de Géologie, MNHN, 43, rue Buffon, 75005 Paris.

S. Sen, Institut de Paléontologie, MNHN, 8, rue Buffon, 75005 Paris.

S. Wenz, Institut de Paléontologie, 8, rue Buffon, 75005 Paris.

Achevé d'imprimer le 30 décembre 1982.

Les 1er et 2e trimestres de l'année 1982 ont été diffusés le 21 octobre 1982.

IMPRIMERIE NATIONALE

2 564 000 5

Recommandations aux auteurs

Les articles doivent être adressés directement au Secrétariat du *Bulletin du Muséum national d'Histoire naturelle*, 57, rue Cuvier, 75005 Paris. Ils seront accompagnés : de la traduction du titre en anglais, d'un résumé en français et en anglais, de l'adresse du Laboratoire dans lequel le travail a été effectué (en note infrapaginale sur la première page).

Le *texte* doit être dactylographié à double interligne, avec une marge suffisante, recto seulement. Pas de mots en majuscules, pas de soulignages (à l'exception des noms de genres et d'espèces soulignés d'un trait). Il convient de numéroter les *tableaux* et de leur donner un titre ; les tableaux importants et complexes devront être préparés de façon à pouvoir être clichés comme des figures.

La liste des *références bibliographiques*, à la fin de l'article, devra être présentée par ordre alphabétique des noms d'auteurs, chaque référence étant indiquée ainsi : auteur, initiales du (ou des) prénom, date, titre d'article ou d'ouvrage (en entier), revue abrégée selon la *World list of Scientific Periodicals*, tome (souligné), numéro (entre parenthèses), deux points, pagination et llustrations.

Les *dessins et cartes* doivent être réalisés à l'encre de chine. Les *photographies* seront le plus nettes possible et tirées sur papier brillant. Tenir compte de la justification du Bulletin : 14,5 cm × 19 cm. L'auteur devra indiquer l'emplacement des figures dans la marge de son manuscrit. Les légendes seront regroupées à la fin du texte sur un feuillet séparé.

Tirés à part : 50 tirés à part seront fournis gratuitement par article. Les auteurs peuvent éventuellement commander des tirés à part supplémentaires qui leur seront facturés directement par l'Imprimeur.

MÉMOIRES DU MUSÉUM NATIONAL D'HISTOIRE NATURELLE

Collection à périodicité irrégulière. Paraît depuis 1935. A partir de 1950, les Mémoires se subdivisent en quatre séries spécialisées : A, Zoologie ; B, Botanique ; C, Sciences de la Terre ; D, Sciences physico-chimique. (Format in-4°.)

Dernières parutions dans la série C

T. 41 — Gaudant (Mircille). — Recherches sur l'anatomie et la systématique des Cténothrissiformes et des Pattersonichthyiformes (Poissons Téléostéens) du Cénomanien du Liban. 1978, 124 p., 57 fig., 10 pl. h.-t.

T. 42 — Lange-Badré (Brigitte). — Les Créodontes (Mammalia) d'Europe occidentale de l'Éocène supérieur à l'Oligocène supérieur. 1979, 249 p., 32 fig., 48 gr., 30 pl. h.-t.

T. 43. — Recherches océanographiques dans l'océan Indien. (Entretiens du Muséum, Paris, 20-22 juin 1977.) 1979, 253 p., fig. pl.

T. 44 — Gayet (Mireille). — Contribution à l'étude anatomique et systématique des Poissons Cénomaniens du Liban anciennement placés dans les Acanthoptérygiens. 1980, 151 p., fig., 29 pl.

T. 45 — Lauriat-Rage (Agnès). — Les Bivalves du Redonien (Pliocène atlantique de France). Signification stratigraphique et paléobiogéographique. 1981, 175 p., fig. 16 pl.

T. 46 — Fröhlich (François). — Les silicates dans l'environnement pélagique de l'océan Indien au Cénozoïque. 1981, 208 p., fig., pl.

T. 47 — Loreau (Jean-Paul). — Sédiments aragonitique et leur genèse. 1982, 314 p., fig. pl.

Ouvrages disponibles au Service de Vente des Publications du Muséum,
38, rue Geoffroy Saint-Hilaire, 75005 Paris

MUSEUM
NATIONAL
D'HIST.NAT.